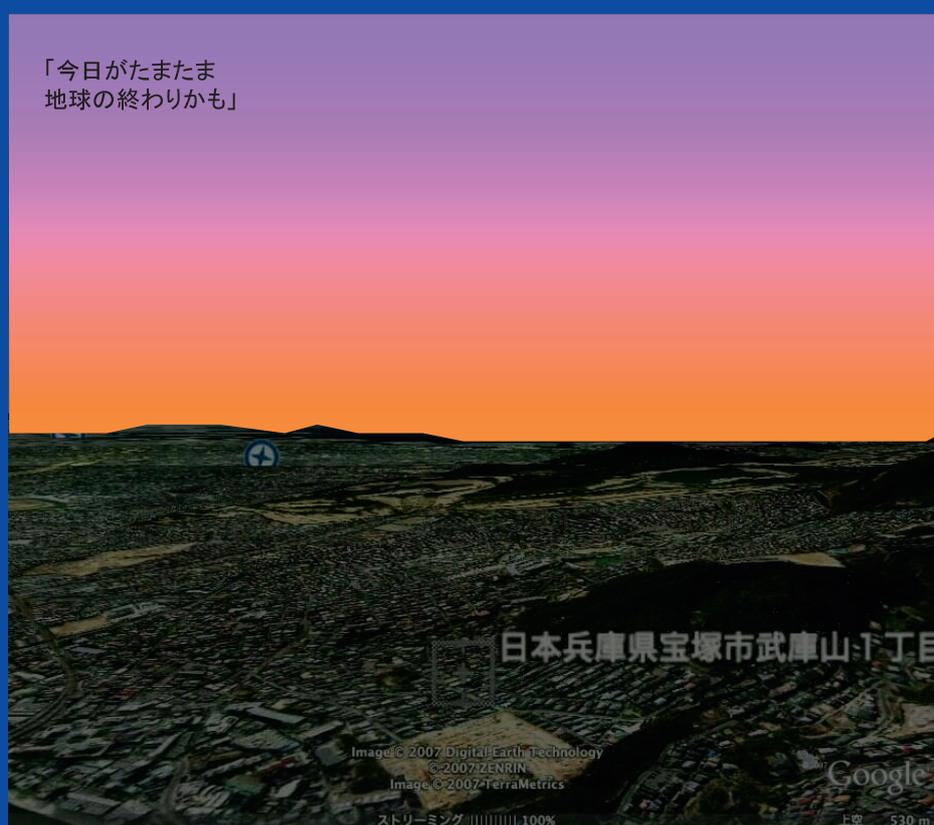


どうして光るのか？

地震にともなう発光現象

-体験談から室内実験まで-



(阪口秀氏が体験を基に作成した地震時の宝塚市の空の様子 一本文参照)

名古屋大学環境学研究所
地震火山・防災研究センター

はじめに

2006年11月に名古屋で開かれた日本地震学会の懇親会で、「兵庫県南部地震の際に、早朝空が光るのを自宅から見た。その光り方は、今まで見たこともないような光景で、この世の終わりではないか?と思った」と阪口秀さん(海洋研究開発機構)から話を聞いた。じつにリアリティのある話だったので、その場で、鷺谷威さん(名大)と地震発光現象のワークショップを開くことを決めた。実在するのはこれだけ明白なのにも関わらず、現在の地球科学は、空を一面明るくするような地震発光現象のメカニズムを説明できない。地震や地球内部に対する理解が不足しているために違いない。地震発生の準備過程や地震予知への理解を進めるには、地震発光現象の解明が手がかりになるかもしれない。現在の地震学は、地震波や地殻変動などを通して、力学現象としての地震像の理解に努めてきたが、それ以外の側面に対して目を向けない、偏った取り組み方をしてきた。

地震発光現象ワークショップの開催は、名大地震火山・防災研究センター研究員の相澤義高さんが担当した。もともと、岩石高圧実験を専門としていたので、この種の問題にも関心を持っていた。相澤さんは、「なぜ光るか」との魅力的なタイトルをつけ、講師の交渉にあたった。阪口さんを始め5人の方をお願いすることになった。井筒潤さん(中部大)は、地球物理学を専門として、地震学と地球電磁気学の“通訳”の役割をお願いした。それぞれの分野の専門家はいても、その両方を理解する人は少ない。そこで、数少ない“バイリンガル”としてお願いした。鴨川仁さん(東京学芸大)は、電磁気現象を地震発生の関連から取り組んできた物理学者である。この方面での最新の情報を紹介して頂くことになった。鴨川さんは、神戸の地震の際に、体験者の証言も集めていた。加藤護さん(京大)は、地震波を扱う地震研究の本流を歩む方であったが、講演で紹介されたように、学部生の実験で、岩石発光現象の実験を始め、興味深い結果が得られたので、そのお話をして頂くことになった。また、上田誠也先生(東海大)には、この10年間続けてきた電磁気観測による地震予知に関するお話をお願いした。

本報告が、力学現象の研究や観測に偏重している、現在の地震研究や地震予知研究に対し、新しい道を切り拓く、そのきっかけになってくれればと願っている。巻末には、井筒さんがまとめた、地震発光現象に関する文献とその紹介が掲載されているので、参考にさせていただきたい。

2007年3月 名古屋大学環境学研究科地震火山・防災研究センター
安藤雅孝

目 次

「1995年神戸での体験から」	1
阪口 秀 (海洋研究開発機構)	
「地震発光現象とは何か」	19
井筒 潤 (中部大 地球ウォッチ・市民安全センター)	
「近年の地震における発光現象の観測・目撃例」	54
鴨川 仁 (東京学芸大)	
「岩石の破壊に伴う発光の観察」	77
加藤 護 (京都大)	
「まとめ」	102
上田 誠也	
参考文献	116
井筒 潤	
おわりに	118
安藤 雅孝	

1996 栗林氏撮影

どうして光るのか？

地震にともなう発光現象をさぐる

—体験談から室内実験まで—

阪口 秀 (JAMSTEC) 井筒 潤 (中部大学)

パネリスト

加藤 護 (京都大学) 鴨川 仁 (東京学芸大学)

1月26日(金)
13:30-17:00
名古屋大学環境総合館
レクチャーホール

水谷 仁氏(科学雑誌「ニュートン」編集長)よりコメントが頂けるかも知れません。

問い合わせ：名古屋大学環境総合館・防衛研センター 相澤義高・安藤雅孝
aizawa@seis.nagoya-u.ac.jp TEL:052-788-6209

地震発光現象ワークショップ

「どうして光るのか？」

日時 2007年1月26日（金） 13:30～17:00

場所 名古屋大学環境総合館レクチャーホール



（相澤） 今回、地震発光現象ワークショップですが、講演いただく講師のかたは、まず、実際に発光現象をごらんになったという体験談から始まりまして、地震発光現象全般のレビュー、発光現象の観測・目撃例に関するお話、最後に岩石の破壊に伴う発光の観察、実験室内での発光現象について。それから、プログラム

には載っていないのですが、そのあと上田先生にもお話ししていただく予定になっております。

このワークショップのポスターをホームページに掲載しました。ごらんになったかたも多いかと思いますが、当初、一月ぐらい前の最初のポスターで、松代の地震の際の発光現象の写真を、実は正式に許可をいただかずに掲載しておりまして、そのことについて松代地震センターの石川さんからご指摘を受け、その後、松代地震センター所蔵の写真ということと、ホームページのアドレス等も掲載いたしました。松代地震センターの関係者のかたにはご迷惑をおかけしまして、申し訳ありません。

それでは、最初のご講演、海洋研究開発機構の阪口さんのお話です。阪口さんご自身は、粒子系シミュレーションがご専門で、実際に研究されている内容と、発光現象はあまり関連がないといえますか、直接、発光現象を研究されているかたではないのですが、貴重な体験をなさっているということで、今回、まずそちらの体験談から始めていただきたいと思います。よろしくお願ひします。

「1995年神戸での体験から」

阪口 秀 氏（海洋研究開発機構）

本日は、安藤先生にこのようなりっぱな会に招いていただきまして、光栄の至りです。今、相澤先生から紹介がありましたように、私は発光現象の研究をしている者ではなく、たまたま見ただけです。ただし、かなりはっきり見たので、その経験をご紹介させていた

だけたらと思います。

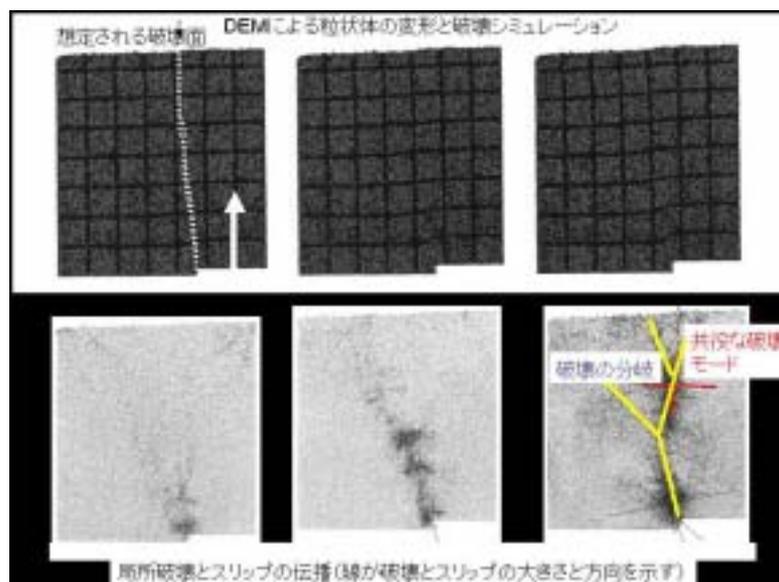
(以下スライド併用)

自己紹介



どこの馬の骨とも分からない人間ですので、少しだけ自己紹介をさせていただきます。私は、もともと農学部出身で、農業工学の農業土木で土とか岩石とか泥の研究をずっとしておりまして、学位論文は「粒状体のパターン形成」という、本当に地震とは関係のないことをしておりました。

唯一、少し地震と関係があるかなと、あとから自分の学位論文を眺めてみて思ったものがあります。図表1は学位論文のあるページなのですが、粒の集合体の力学シミュレーションをして、右端の下をずるずる押していく。このとき私の頭の中には地震という言葉はありませんでしたので、断層とかそういうことも全く考えていなかったのですが、これはある実験のシミュレーションということでやりました。これをシミュレーション上の中で見たときに、想定される破壊面は、大体この白い線のところで、右端を押すとずれて上がっていくのですが、シミュレーション上ですから、逐次粒子単位でスリップが起こる、起こらないというのが確実にトレースできます。それを追うと、この黒いもやもやは、局所破壊が起こって、スリップが起こった量、スリップの量を表しています。そうすると、最初は、当然ながら右下の角のところからスリップがたくさん発生するのですが、どんどん押していくと、そのスリップが上に伝播していく。ただし、この場合、真上には伝播しな



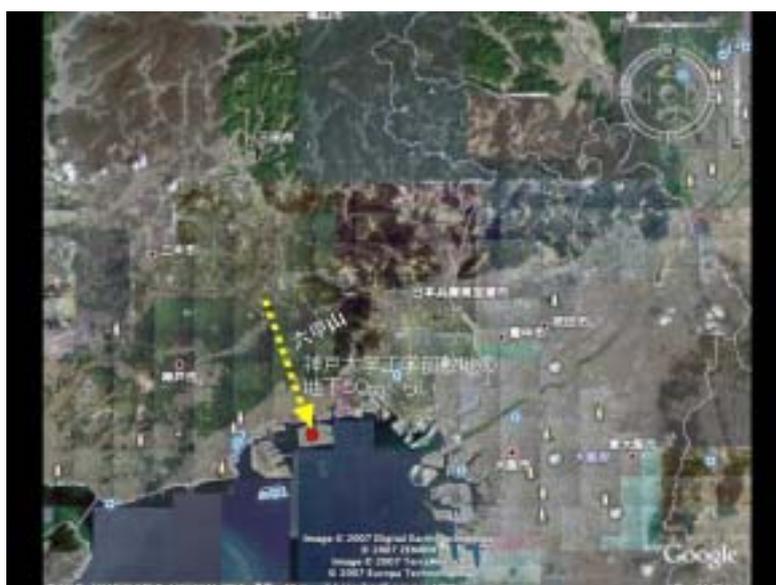
阪口一図表1

いで、ずっと押していくと、やはり大体想定スリップ面のところで破壊が起こります。この中でスリップのパターンをよく見ると、真上に押ししているにもかかわらず、共役な破壊面、直交する破壊面が、この簡単な粒子シミュレーションの中でも出ていて、さらに破壊は進行するとともに、逐次分岐していくというパターンが出ており、これだけが唯一私が地震と関係していたかなと、あとから自分の学位論文を見て思えるぐらいで、本当に私は関係のない人間でした。

地震屋さんに追いかけられた 13 年

大学院を出たあと、神戸大学農学部の助手に行ってから、悪夢のように地震屋さんに追いかけられました。どういうことかということ、先ほどのシミュレーションを学生のときにやるたびに、大阪土質試験場で、今は京大の防災研の教授になられた澤田純男先生にシミュレーションのやり方を教えていただいたおかげで、私は神戸に行ったあと、澤田先生に、「関西地震観測協議会（関震協）で関西に 10 点強震度計を置くから、おまえは神戸大学の地震計の面倒を見ろ」と言われました。つきましては、神戸大学は電気代も払ってくれないので、バッテリーを背中に背負って、毎週 2 回測りに行けと言われてまして、最初は何のことか分かりませんでした。でも、100 万円の研究費をやると。それから当時高価だったノートパソコンを、データ吸い上げのために 1 台やるというので、これはラッキーと思って簡単に請け負いました。それが 1994 年でした。

それがどういうことかということ、知っているかたは知っているのですが、図表 2 に六甲



阪口－図表 2

山があり、ここにポートアイランドではないほうの六甲アイランドというのがあります。この六甲アイランドを埋め立てるために、六甲山の裏の、この辺。今はもう住宅もたくさん立っていますが、昔はこの辺は田舎でした。六甲山の下をくぐっているベルコンのトンネルで土砂をずっと運んでいて、たまたまそのトンネルが神戸大学の工学部の敷地の地下にありました。ただし、非常に深く、50mぐらい深い地下でした。当然電気も何もなくて、懐中電灯と頭にヘッドライト、背中にバッテリー、パソコンをかついで、週に2回データを取りに行くという、半ばアルバイト状態の体力仕事をしていました。

この辺から徐々に地震に巻き込まれたのですが、私は専門ではありませんから、データを使っていいよと言われても何にどう使っていいのかさっぱり分かりませんでした。図表3は字が小さくて申し訳ないのですが、95年1月は、17日より前にぼそぼそいろいろところで地震がありました。関震協で測っていた10点で、競争のように、どこがいちばん揺れたとか言って、いつもデータを出してはしゃいでいたのですが、神戸大学は全然揺れませんでした。それで「おまえ、ちゃんとメンテしているのか」などとさんざん怒られて、いろいろやったのですが、とにかく動かなかったので、神戸大のデータだけ、あのメインショックの前はほとんど抜けになっています。そのときに一人の学生に、「神戸大付近の常時微動」などというタイトルで適当な卒論を書かせようと思っていたのですが、「先生、揺れませんか。どうしましょう。私の卒論、できるんでしょうか」などと言って、本当に2日前に「何かどかーんと来たらしいですね」など冗談でその学生が言ったのです。、そうでなければ卒論にならないので。

自己紹介 ー 地震屋さんに追いかけられた13年

学歴: 1981~1991
 京都大学農学部農業工学科 (学部、修士の一年、博士)
 米国ワイスコンシン州立大学土木工学科 (博士)
 学位論文: Pattern Formation of Granular Media

職歴: 1991~1995
 神戸大学農学部農業工学科農業土木専攻助手

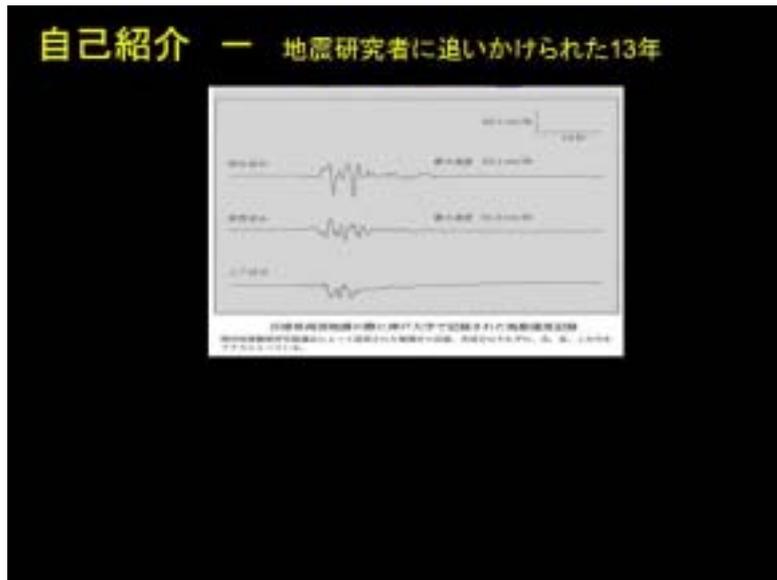
研究費100万円と当時高価であったノートパソコンにつられ、大阪土質試験所の 津田氏(理京初大学防災研究所教授)に関西地震観測研究協議会に強制的に入らされ、1994年から、神戸大学工学部地下トンネル(裏六甲-表六甲間)にて、地震観測双録状態、学生に神戸大学の常時微動なるテーマで、卒論を書かせる。

関西地震観測研究協議会 1995年観測記録

観測点	観測期間	観測内容	観測装置	観測地点	観測結果
1	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
2	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
3	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
4	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
5	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
6	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
7	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
8	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
9	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり
10	1994.1.15~1995.1.15	常時微動	ベルコン	神戸大学工学部地下トンネル	観測結果あり

しかし、卒論も仕舞入ってるはずの1月16日まで全く何も記録されなかった。

阪口一図表 3



阪口一図表 4

ところが、実際に来てしまったわけで、この神戸の地震の記録は皆さんもよくご存じだと思いますが、私が適当に測っていたものだったのです（図表4）。来てしまって、建物は壊れませんでした、職場の計算機も何もかも全部、こっぴみじんに壊れて、家の中も壊れて、どうしようもない生活が始まりました。

たまたまそのときに文部科学省の在外研究の応募があったので、こういう事情なので研究ができないと陳情書のようなものを書いて出したら、ぽっと当たりました。私はオーストラリアに脱出して、そのまま向こうに行って永住権も取って、神戸大学を退職して、向こうに家まで買って、自分ではきっちり逃げ切ったと思っていたのです。ちゃんと向こうのCSIROという連邦の研究所で正規のポジションを取って、主任研究員まで上がって、そのまま私はオーストラリア人になろうと思って、ほくほく生きていました。そうこうしている間に、私が所属していたCSIROのソリッドメカニクスのグループが解散になってしまって、それぞれ研究員は次の職を自分で見つけろということになりました。

せっかくオーストラリアで永住権を取ってほくほくしようとしていたので、私はクイーンズランド大学の講師のポジションがちょうどあったので、そのポジションを取ってサインもして、行くことを考えていました。私がいたのは西オーストラリアのパーズで、クイーンズランド大学はブリスベンなのです。この距離を引っ越すのはどうやるのかなと、はたと考えたときに、これは日本ですよね（図表5）。地震屋さんは、桁が違わないと物は同じだというように考えるので、ブリスベンへの距離と日本への距離は桁が変わらないわけ

で、ならば日本に帰ろうかと。ちょうどそのときに家内の両親も調子が悪くなって、できれば帰ってきてほしいということだったので、こんなところに引っ越すよりこちらに行くほうが良いと思って、引っ越し屋に、引っ越し先をブリスベンはやめて東京にしてくださいと本当に頼んで、引っ越し先を日本にしたわけです。

帰ったものの仕事がなかったので、知り合いに頼んだら、東大の堀先生が「客員ならしばらくいられますよ、給料も出ますし」と言われたので、地震研の客員にさせてもらっている間に、JAMSTECで公募があったので応募させていただいて、やっと生き延びられる状況になり、なぜか今日発光現象ワークショップに来ている次第です。ですから、本当にど素人です。



阪口一図表 5



阪口一図表 6

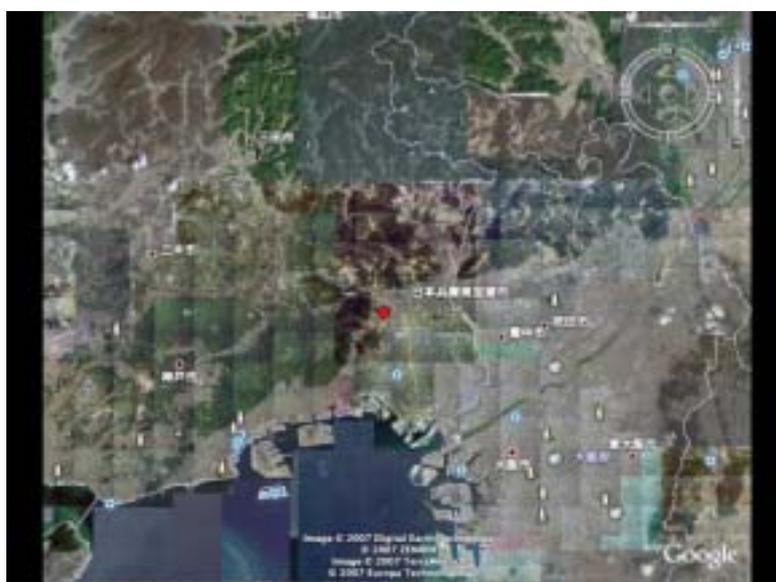
12年前の記憶を辿って

12年前の記憶もそれほど定かではありませんが、場所だけ説明させていただきます。

この辺に住んでいたわけで、この辺というのは、これは後で見ます。私の逃走経路です(図表6)。

私は神戸大農学部の助手をしていたときに、宝塚にある神戸大学の官舎に住んでおりました。それをずっとクローズアップすると、ちょうど先ほど話した六甲山の端にあります(図表7)。

ぐっとクローズアップするとここが大学の官舎で、ここが淡路。大体一直線上です。こ



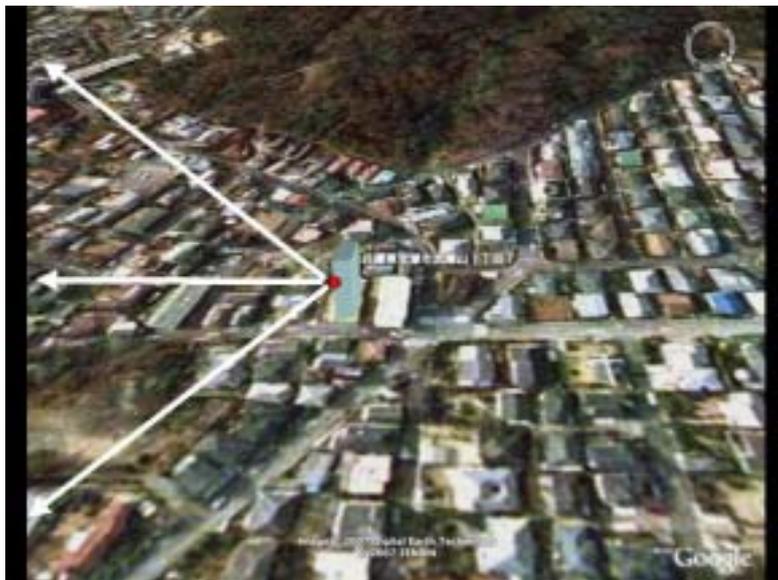
阪口—図表7



阪口—図表8



阪口－図表 9



阪口－図表 10

近くの山で、淡路は直接家からは見えない位置でした（図表 8）。

もう少しクローズアップしますと、家があったのはここです。Google Earth というのは
すごく便利で、こんなところまで見えます（図表 9）。

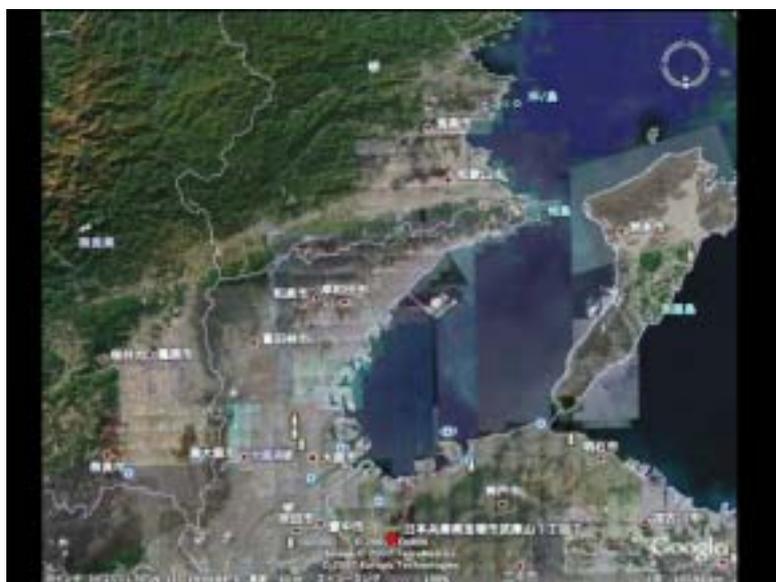
Google Earth でも調子が悪いのは、立体感がない。斜めから見ると地震があつた直後の
ようなぺっしゃんこな絵になっています。私が住んでいる建物はここで、南側の窓から見
る視野は大体これぐらいでした（図表 10）。

これを真上から見ると、大体これぐらいの視野（図表 11）。ただし天気がよくないと、

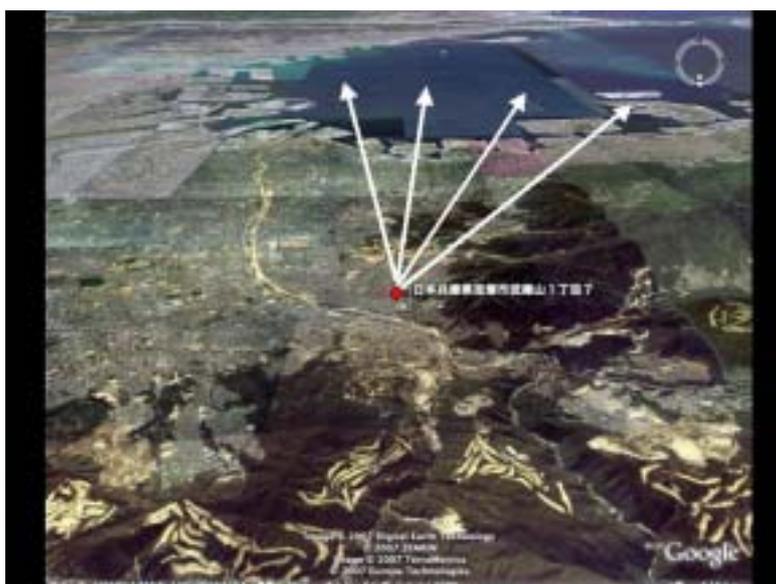
全域は絶対見えない位置でした。ちょうどその六甲山の端で、駅から急坂で、小高い場所にある団地でしたので、天気がいい日は、下を見渡すとぎりぎり西宮とかが見える高さに住んでおりました。

図表 12 も Google Earth を使った視界なので、正しくはなくて、もう少し見えにくいはずですが、大体感覚としてはこんな感じです。

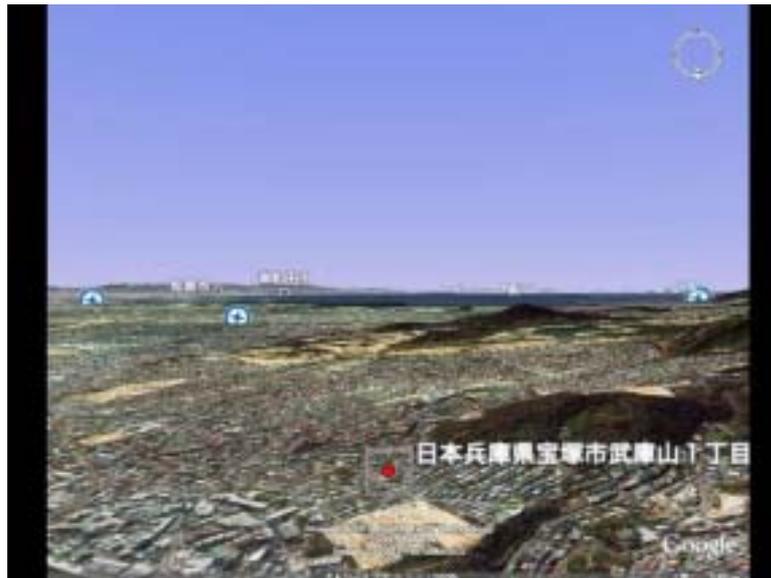
私が住んでいた場所から見える範囲は、こういう場所が南側のベランダの窓からは、昼間は見えます（図表 13）。夜は、普通は何も見えません。



阪口－図表 11



阪口－図表 12



阪口－図表 13

地震当日起床後の記憶

1月17日のことですが、私は不幸なことに、前の日とその前の日にちょうど大学のセンター試験の監督をさせられて、非常にストレスを感じたのか、16日の夜中に尻から血が出まして、下血ですよ。兄貴は医者なので、兄貴にどうしたらいいだろうと言ったら、「すぐ病院に行ったほうがいい。でも、宝塚市の救急病院は、行くと逆に死ぬことがあるから、神戸のいい病院を紹介してやる」と言ってもらって、「あの病院はすぐに入れないけど、先生を紹介するから、朝開く前に、6時半に行け」と言われたので、向かいの、同じ官舎に住んでいた人に頼んで車で朝6時に約束して、待ち合わせをして、出かける予定でした。私はとりあえず5時20分に起きて、身仕度をして、顔も洗っていたので、はっきりそのときは起きていたのと、自分の腹の調子というか、腸が破れたのか胃が破れたのかとか、そういう心配をしていたので、意識は非常にはっきりしていました。

そのときは外は全く何も見えません。プラス、窓ガラスがすりガラスだったので余計見えないところに住んでいたわけです。

時計は見ていないので私はその時間はいえませんが、絶対真っ暗な時間のはずなのに、何か外が白んでいたのです（図表 14）。なんだろうと思って、非常に不思議な気がしたので、南側の寝室の窓を開けました。すると、そのときの家内は、私の前の奥さんなのですが、やはり怒鳴られました。「何すんの！ 寒いやないの！」とめちゃくちゃ大きな声で怒鳴られました（図表 15）。突然真冬に、私が起きているからということで寝室の窓を開け



阪口－図表 14



阪口－図表 15

たので、家内も激怒して、彼女もそのときに目が覚めて、彼女の意識はその時点で私を怒ろうとする意識のもとではっきりしたはずですが。

そのあと、記憶に頼ると、外がどんどん白くなると同時に、薄紫で、ちらちらという感じがして、私のかすかな記憶では、遠くでからからというすごく乾いた音が、あまり大きな音ではありませんが、聞こえました（図表 16）。また暗くなったと思ったら、また明るくなってということがあって、その次はだんだん本当に外が白くなってきて、だんだん色が変わってきたのを覚えています。



阪口－図表 16



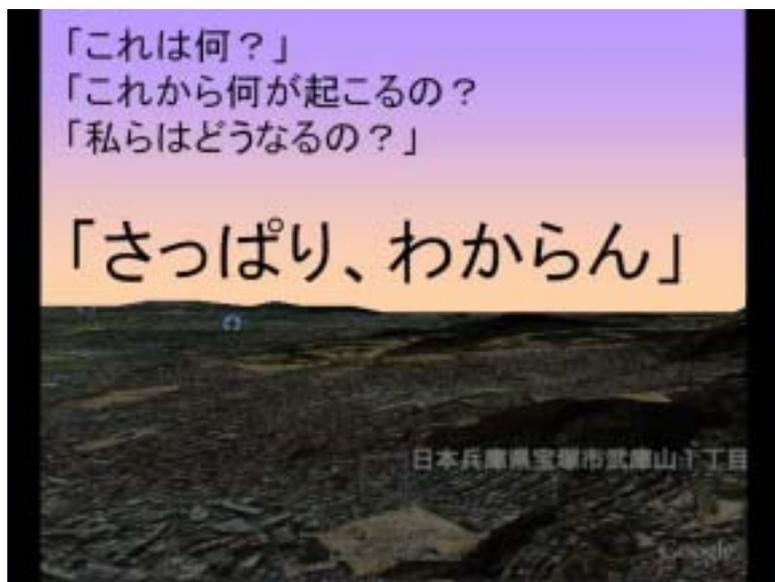
阪口－図表 17

少し赤みが出てきたときに、大太鼓を5～6個同時にたたいているような、ごろごろという重低音が出てきて、窓から外を見ると、向こうから破壊の波が来るといふか、とんでもないことが外で起こっているなという感じがしました（図表 17）。

その時点で自分の家も揺れ始めて、だんだん立っていられなくなり、さらに空は赤白くなってきたときに一緒に二人で外を見て、家内が「これは何だ」と私に問いただして、「あなたは科学者だから答えろ」というような言い方で脅迫されたわけですが、揺れていますし、その揺れが尋常ではなかったので、それが地震だとはなかなか気がつかなくて、「何が

起こるの、私たちはこれでどうなるの」という本当に危機的な気持ちが彼女には多分あったのだと思います。私の答えは「さっぱり分からん」と。これは本当に会話なのですよね（図表 18）。

次に、「今日はもしかしたらたまたま地球の終わりかもしれないね」と答えました。その時点で私は少し冷静だったと思います。私の中にあったイメージは、単なる私の想像ですが、西宮の海の向こうが割れて、怪獣か何かが出てくるか、地球が火を噴くのではないかというようなものでした（図表 19）。その時点で大揺れが始まったときの空の色は、最初の薄紫、白からだんだん赤に変わって、こんな色に見えていたのです。そのあと、少し暗



阪口—図表 18



阪口—図表 19

なくなったら、もうあとはがたがた揺れて、窓もかってに閉まって、何もできない、全然立ってもいられない状態で、ことは終わって、また漆黒に包まれました。

先ほど、私はちらっと前の家内とお話しました。このスライドを一昨日ぐらいから得意になって作っていたのですが、やはり 12 年前の記憶は自分の中での思い込みなどが入ってくる可能性があるので、今朝になってすごく自信がなくなって、こんなことを話しても、もしかしたら間違っているかもしれないなと思ったので、勇気を振り絞って、前の家内に今朝早く電話してみて、あの日の朝のことを覚えているかと聞いたら、覚えていないはずがないと。今日こういうワークショップで話をしなければいけないから、僕はあなたの記憶を頼りに今日は話してみるから、どんなだったか、もう 1 回言ってくれないかと頼んだわけです。そうすると、当然電話ですから、このスライドは見えないわけですが、彼女が今朝電話で説明してくれたことと、僕が 3 日前から作ったこのスライドは、時系列と色、現象に関しては、ほとんど記憶どおりでした。あのとき私も何が起こるのかさっぱり分からなかったということで、今の話とこの色に関しては、二人の人間が割と正気の状態、窓を開けて外を見ていたので、多分正しいと思います。

ここで私のスライドは終わりですが、「あのあとまた真っ暗になったよね」と私が聞いたしたら、そうだと。でも、僕はそのあとの記憶があまりないのですが、「あのあと真っ暗だったから、あなたは家中のガラスが割れて、食器が割れて、冷蔵庫も倒れていたところを、子供を抱きかかえて、私の手を引っ張って、とっさにそのまま外に逃げ出して、あなたは大けがをしたことを忘れたか」と言うので、「ああそうだったね」という話でした。ということは、その状況が大変だったから走ったというのものもあるかもしれませんが、やはり真っ暗で何も見えなかったから、ガラスがあろうが何があろうが、そのあとまた走っていったわけです。その前にすべてのことが見えていて、終わってからまた暗くなったわけですから、地震が終わったのは 6 時前ですから、少しは薄明るくなったかと思いますが、まだ物は見えない時間帯だったと思います。雑ばくな話ですが、私が発光現象に関して見たことは大体以上です。

質疑応答

(河野) 福山大学の河野(俊彦)です。私も地震は全く関係ない、雷の研究をしていた者が、神戸の地震以来引き込まれて、地震で発光現象があったことをきっかけに、この分野で観測してみようかということで、電磁波の観測をし始めた者です。



お尋ねしたいのですが、病院に行かれる用意をするので、6時の約束でそれ以前から起きていて、気がついたら外がちょっと明るいということで窓を開けたというお話でしたが、それから経過時間があって、大きな揺れが起こった時点、初期段階ではまだ明るい光があったという話ととらえてよろしいかと思いますが、気がついたときというのは、地震が揺れ始めたどのくらい前でしょうか。10分……。

(阪口) 多分そんなに前ではないと思います。

(河野) 気がついたときは明るかったけれども、気がつく以前から明るかったわけですか。その辺は。

(阪口) たまたま窓は汚いすりガラスなので、ふだんは外が暗くて、家の中も電気を消していると基本的には真っ暗ですよ。町の明かりもその時間はそんなにはないはずで、ただ、1月の冬の朝にしては外が妙に白いので、霧が出ているのか何なのか、全然考えもなく、今日は何だろう、霧かな、それとも月明かりがまだ残っているのかなと思って、本当に興味本位でちらっと窓を開けたときにはもうすごく白かったのです。ただ、そのときにはまだ何も揺れて倒れるなどということはなかったので、外が白いと思いました。恐らくあの地震自体がトータルで1分も揺れていなかったわけですが、気持ちとしては10分ぐらい揺れていたような気がしているので、自分では、錯覚としてすごく長く時間を感じていたと思います。揺れ始めてからの恐怖心が。ですから、それを見たのも多分揺れが始まる10分も前ではないと思います。

あ、でも、それは間違いありません。起きたのが5時20分で、目覚ましをかけても一瞬にして起きませんから、ぐだぐだして、腹痛いとか、病院行くのいやだとか思いながら、うだうだして起きていますから、その間に10分は確実にたっています。

(河野) 30分過ぎ。地震が47分でしたかね。

(阪口) 5時40分は超えていると思います。

(河野) 実は私は後で聞き取り調査に行ったのですが、山陽新聞に空があかねに染まった写真を撮られたかたが東灘におられました。東灘の、やはりマンションの屋上近くのところ、西の方向に向かって見晴らしが非常にいいところに住んでおられたのですが、そこから撮られた写真でした。そのかたのお話を聞いてもやはり、年寄りだから、トイレに起きて、何か外が明るいなということで、アマチュアの写真家のかたでしたから、いつも枕元にカメラを置いているものだから、外へ出て1回見て、また戻ってカメラを取ってベ

ランダに行って、写真を撮っていたそうです。その人の息子さんはアメリカに行っておられたのですが、正月で帰ってきておられて寝ていたのが、「親父、そんなに早くからがたがたするな」とお叱りを受けたので、「そうか」と言って、写真だけ撮って、トイレをして、寝床についたとたんに揺れたという話をされました。そのときの写真の色はあかね色でしたから、ほんの直前だろうと思いますが、その体験は聞いたことがあります。

(辰巳) 神戸から参りまして、今は趣味で天文をやっているというか、天文台に勤めていたりもしました、辰巳(直人)と申します。

兵庫県の地震のときは、ちょうど神戸の西区に住んでおりまして、大学も兵庫県の大学に通いまして、地震学を別の大学の大学院でやった者です。私は地震の瞬間は布団の中で寝ておりまして、揺れで怖いといって目をぎゅっつつぶって、そのまま潜ってしまったので何も見ていないのです。友人とか周りに住んでいる人が、閃光といいますか、ぱっぱっぱつと、揺れている瞬間にぱちんぱちんと光るものを見たという話をけっこう聞いたのですが、こういうじわつと光るようなお話は初めてお伺いしました。閃光などはごらんになっていませんか。

(阪口) この赤い光になる前は、白と薄紫の光は閃光です。ぱ一つと明るくなってすつと消えた。でも、全体は明るいのです。ただ、赤みが出てきたあとは、大揺れしていたのですが、そのときはそういう際立った閃光と言うよりは、これからどんどん赤くなるのではないかと思うような色でした。

(辰巳) ありがとうございます。もう一つ、写真の色について先ほどご質問されたかたがいました。私は天体写真なども撮り、夕焼けとかの写真も撮るのですが、写真の色と目で見た色は、ぴったり合わせるのがすごく難しいのですよね。ですから、写真の色がこうだから絶対こうだと言い切るのは難しいと思います。やはり目撃されたことのほうが正しいのではないかと、私は個人的に考えております。ありがとうございます。

(上田) 今、見せていただいたように空が全面的に光るとすると、どこかだけぴかぴかと光っているということはないのですか。

(阪口) 少なくとも、窓の視野から見える範囲は全面に見えました。ただし、先ほどの図にもありましたように、窓の視野から見えるところは、あまり広くない。うちからは方角的に淡路が直視できませんので。

(上田) 先ほどのスライドで拝見する限りは、全面的に色がかかっていますが。

(阪口) 窓を通して私の目から見る範囲は、もう一面です。

(上田) あの図と同じぐらい見えているわけですね。

(阪口) はい、全部です。海のほうで何かが起こっているのかなという気持ちがするぐらい、広く見えました。

(質問者1) その日は空が曇っていたか晴れていたか。午前5時ごろの空の状態はどうだったのでしょうか。発光は雲から光を発光していたか、それとも上空の空気の分子から光を発光したかというところが問題だと思いますが、先生の体験ではどう感じられましたか。

(阪口) 最初の薄紫と白系のときは、それから赤くなるということは全然考えもしなかったもので、ちらちらしているので、昼間の雷のように思えました。この辺ですよ。

図表18もちょっとパソコンで作った色とスクリーンの色がだいぶ違うので、ちょっと残念ですが、地面というか海というか、視野の上から赤くなるのではなく、視野の下というか、海のほうから赤くなっていたと記憶しています。曇っていたかどうかというのは、ちょっと私には分かりません。

(質問者1) それは雲に反射された写真です。光っている部分は多分地面から雲までの間の全体かどこかで光っているのだらうと思いますが、空の赤みは雲などに反射された色が、写真では撮影された。ですから、普通、現代でも物理学では、水の分子とか空気から光が発することはありえない、そういう実験事実は現象としてないわけです。やはりこれは物理学の根本に問題があると僕は思います。普通、発光現象で、こういうところに水滴から光を出すとか、そういう実験例は聞いたことがないので、その辺にやはり根本的な大発見の糸口があるような気がしますけど。

(阪口) そのとき生まれたばかりの子供が私と同じ部屋に寝ておまして、ビデオカメラをいつも横に置いて、子供が面白いことをしたら必ず撮っていたので、そのときも、「あ、これはビデオに撮らなきゃ。こんな面白いこと」と思ったときが、この赤くなったときだったのですが、もう揺れだしたらビデオカメラが吹っ飛んでどこかに行ってしまったのです。ですから、家内もそれを記憶していて、「あなたは何でもかんでもビデオカメラに撮っていたのに、あのときは撮れなかったね」という話も今朝電話でしましたが、それが撮れなかったのはすごく残念です。科学者として失格というか、首からぶら下げておけばよかったのかなとも思います。

(辰巳) その瞬間の体験ではないのですが、このときまだ中学生か高校生で、朝数学の小テストがあるというので夜中の12時から勉強を始めました。1時間ぐらいして寝ようか

とあって、私も先ほども申しましたように天文に興味がありますので、今夜はどんな天気なのだろうとあって、カーテンを開けました。そうしたら、空一面べたっと曇ってありました。その日は満月ということを知っておりまして、何となく雲が光っているというか、ぱっと見た瞬間、これはきっと満月の光が薄雲を通して抜けているに違いないと思いました。まさに一面そんな感じでした。白系の、肌色というのでしょうか、そんな感じで光っていたことを記憶しています。赤とかそういう話はけっこう聞くのですが、私はそれは見ていません。

(阪口) 私も最初、妙に白い、明るいというのは、それかなと思ったぐらいでした。しかし窓を開けてベランダから外を見たときに、どんどんそれが変化していった閃光というか、もっと明るいものがストロボのようにぼっぼっぼっぼとなったあと、赤くなっていたので、これはそれではないと。そのときの家内もそう思ったようです。

(質問者3) 天候についての確認ですが、揺れたときに、倒れてから送電線等が接触して火花が散るというよく問題はあるのですが、全くそれは揺れる1分～2分前の話ですよ。ですから、スタートは先ほど言われましたように、閃光から始まって色がだんだん変わったような形に感じられたというイメージで今お聞きして、赤くなったころから揺れが始まったと受け取りましたが、閃光そのものは揺れとは全く関係ないと。

(阪口) 関係ないというか、それより前です。

(辰巳) その閃光というのは、10秒か20秒以上前ですか。要は、淡路島の野島で破壊が始まってから10秒ぐらいで破壊が、宝塚まで伝播してくると思います。宝塚で揺れを感じている10秒前に、震源地から発光しているのではないのでしょうか。

(阪口) 気持ちとしては10秒以上前だと感じるのですが、もしかしたら10秒以内かも分かりません。しかし、揺れる前であることは間違いありません。

(相澤) 阪口さん、どうもありがとうございました(拍手)。

次の講演者・井筒さんは、地震電磁気現象のご研究をご専門になさっています。今回、地震発光現象とは何かということで、皆さんに地震発光現象について、具体的にお話しただきたいと思います。よろしくお願いします。

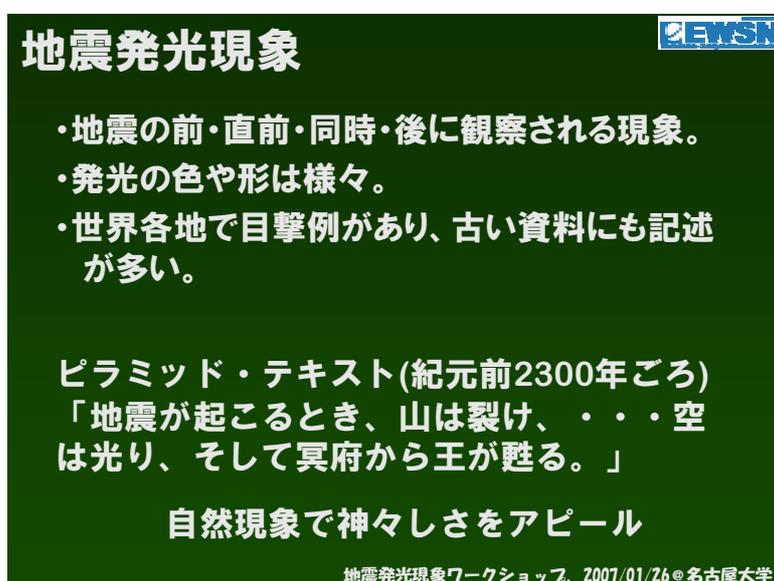
「地震発光現象とは何か」

井筒 潤 氏（中部大 地球ウォッチ・市民安全センター）



地球ウォッチ・市民安全センターというところから来ました井筒です。地球ウォッチ・市民安全センターというのは、今年度からスタートした中部大学の研究センターで、私はそこでプロジェクト研究員として働いております。よろしくお願いいたします。本日はお招きいただきありがとうございます。それでは地震発光現象についてお話ししたいと思います。

（以下スライド併用）



地震発光現象

- ・地震の前・直前・同時・後に観察される現象。
- ・発光の色や形は様々。
- ・世界各地で目撃例があり、古い資料にも記述が多い。

ピラミッド・テキスト(紀元前2300年ごろ)
「地震が起こるとき、山は裂け、・・・空は光り、そして冥府から王が甦る。」

自然現象で神々しさをアピール

地震発光現象ワークショップ, 2007/01/26 ©名古屋大学

井筒－図表 20

地震発光現象とは

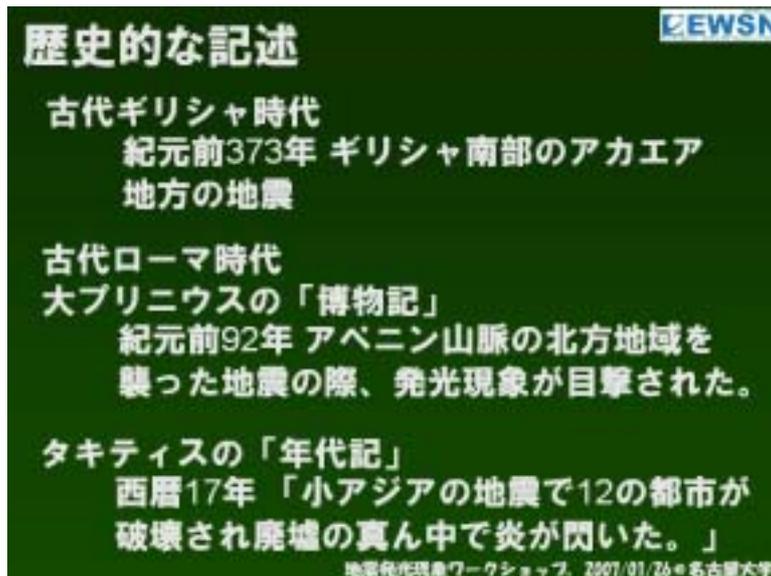
まず、地震発光現象とはどういうものかといいますと、図表 20 で示すように、地震の前・直前・同時・後に観察される発光現象です。この「同時」という意味は「揺れと同時」という意味ですが、「直前」の場合も光を見てしばらくするとすぐ地震の揺れが来たということが多く、「直前」も「同時」もいわゆるコサイスマミックな（地震時の）現象です。プレサイスマミック（地震前）、コサイスマミック、それからアフターサイスマミック（地震後）に観察される何か光る現象であります。でも、発光の形や色はさまざまで、先ほどの阪口さんの

お話にもありましたように、閃光状のものもあれば、何となくぼやっと光っているようなものもある。そういういろいろな証言があります。

阪口さんのお話は兵庫県南部地震のときの発光現象の目撃例だったわけですが、こういう目撃例は、もちろん日本だけでなく世界各地でありますし、非常に古い資料にも記述があります。特に地震と発光、光を関連付けた描写は非常に古くからあり、恐らくいちばん古いといわれるのはこちらのピラミッド・テキストです。ピラミッドの中の壁面にヒエログリフで書いてあります。紀元前 2300 年ごろに、「地震が起こるとき、山は裂け、・・・空は光り、そして冥府から王がよみがえる」と書いてあります。エジプトでは王様が死んだ後もいつかあの世から甦ってくることを信じて、死体をミイラにして保存しているわけです。エジプトでは王と神様を同一視していて、地震や雷などの自然現象というのは神様の仕業であると考えられていましたので、神々しさをアピールするために、地震や雷などで空が光る、などといった記述がよくあります。似たようなものに、アレキサンダー大王が生まれたときには、空は光って地震が起きて、大王が生まれたであるとか、イエス・キリストが死んだときには、空は暗くなって、地震が起きて空は光ったなどという記述があります。このように神々しさをアピールするために、地震や雷などの光がセットになっていたわけで、現在私たちが言うような地震発光現象とは異なるものでしょう。

歴史的な記述（世界の記録）

こういった記述は神話の世界ですが、ちゃんとした地震の記述となると、このあたりが最初のもので（図表 21）。紀元前 373 年にギリシャの南部のアカエア地方で地震がありました。この地震によってアポロン神殿が壊れ、この 3 年後に建て直されました。今のデルフォイのところに紀元前 370 年に造られたものがいまだにあります。ですから、地震は確かにあり、大きな被害が出たことは間違いありません。このときの記述によると、アカエア地方で発光現象が見られたのと、もう一つ、動物の異常現象が見られたと言われています。この地震によって、海に沈んでしまった町があるらしいのですが、町が海に沈む前に、動物が一斉にその町から逃げていき、逃げ遅れた人間はそのまま一緒に海に沈んでしまったという記述もあります。



井筒一図表 21

今度は古代ローマ時代で、大プリニウスの『博物記』というものです。アペニン山脈というのは、イタリアの北部地方にあるのですが、紀元前 92 年にそこを襲った地震があり、そのときに発光現象が目撃されました。このほかの地震にもいろいろ発光現象があったことが『博物記』には書かれています。ただ、『博物記』というのは、伝聞や伝説などを全部まとめたものなので、記述が少し怪しいところがあります。例えばインドのほうに左側が男で右側が女性の両性具有の人間がいるなどということもいろいろ書かれているので、資料としての信憑性としては疑問があります。

もう少しちゃんとした資料になってくると、タキティスの『年代記』です。これはちゃんとした年代記ですので、歴史書に近いものです。西暦 17 年に小アジアの地震で 12 の都市が破壊され、廃墟の真ん中で炎がひらめいた。Fire is blazing out と英語の訳では書いてあります。この場合は地震のあとの火事ではないのかという気もしますが、ちゃんとした歴史的な史料としてある程度信頼できるものです。

このような歴史的史料に関しては中国なども非常に多いわけで、これは西暦 292 年の史料です (図表 22)。292 年というのは、ちょうど三国志が終わったあたりです。四川省の成都で、火の光が輝き、すぐあとに地震があったという記述があります。

さらに時代が下ると、ビザンチン帝国の頃。東ローマ帝国の古文書では、「西暦 450 年 1 月 26 日、コンスタンチノポリス上空に、『火のようなしるし』が現れ、ほどなく地震が発生した」とあります。このあたりになってくると、一般に言われるような地震発光、僕ら

がイメージするような地震発光に近い記述になってくると思います。このように古くはギリシャ、ヨーロッパ、中国で地震発光現象に関する史料があります。

歴史的な記述 EWSN

中国 四川省 成都
西暦292年 一夜、火の光が輝きすぐ後に地震があった

ビザンチン帝国(東ローマ帝国)の古文書
西暦450年1月26日、コンスタンチノポリス上空に「火のようなしるし」が現れ、ほどなく地震が発生した。

地震発光現象ワークショップ, 2007/01/26 名古屋大学

井筒一図表 22

貞観11年5月26日の地震 EWSN

日本三代実録 西暦869年7月13日

三陸沿岸 (143~145E, 37.5~39.5N) M8.3

流光塵のごとく輝映した。人は倒れて起きることができないほど。城廓・倉庫・門櫓・垣壁崩れ落ち倒潰するもの無数。津波襲来し、海水城下(多賀城)にいたり溺死者1000名。



図：地震調査研究推進本部
震源域は宇佐美(1987)より

地震発光

井筒一図表 23

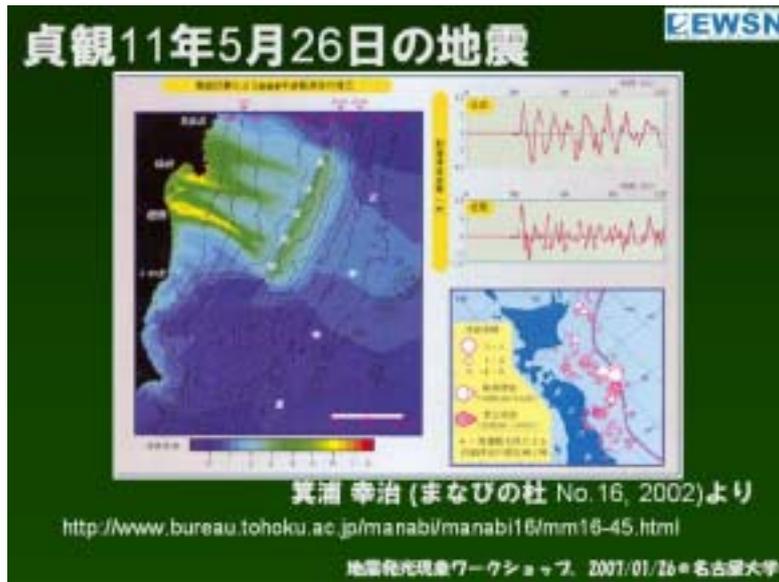
歴史的な記述 (日本国内)

日本ではどうでしょうか。日本でのいちばん古い記述では、貞観11年5月26日の地震になると思います(図表23)。これも『日本三代実録』という歴史書です。余談ですがこの歴史書は天満宮で有名な菅原道真が編纂に携わっていて、この編纂の途中で彼は大宰府

に飛ばされてしまいました。話を戻しますと貞観 11 年（西暦 869 年）7 月 13 日に三陸沿岸でマグニチュード 8.3 ぐらいの地震が発生しています。記録によると、「流光昼のごとく隠映した」とあります。流れる光が昼のように明るかったということです。「人は倒れて起きることができないほど。城郭・倉庫・門櫓・垣壁崩れ落ち倒潰するもの無数。津波襲来し海水城下」。この城とは多賀城のことです。仙台の少し海側に多賀城というところが今でもあります。平安時代はこの多賀城から北側が未開の地であり、この多賀城が最前線だったわけです。そこにお城というか拠点があって、それに津波がやってきて 1000 人ぐらいが死んだということです。この右の地図は地震調査研究推進本部のもので、地図上にいくつか楕円がありますが、三陸沖ではこういうところで過去の歴史地震などがありました。宇佐美（1987）の文献によるとこの地震の震源域はここですね。明治三陸地震とか、昭和の三陸津波地震の震源域のあたりで 869 年の地震は発生したのではないかと推定されています。

ただ、これはもう少し細かく調べた人がいます（図表 24）。東北大の箕浦先生が調査した結果では震源域はもう少し陸に近いところで、マグニチュードは少し小さくなっているようです。具体的にマグニチュードが幾らかというのは分かりませんでした。津波のシミュレーションをしています。シミュレーション結果では仙台で 9 m ぐらいの津波がやってきたと計算されています。ということはこの地震のときには仙台一円が水浸しになったと考えられます。箕浦先生は地質学者で、仙台市の地面を掘って調査すると確かに津波のあとがあったのです。古文書にはそのときに発光現象も一緒に観測されたことが載っています。

日本というのは地震資料が非常に多いので、それに伴って地震発光の資料も非常に多くあります。全部紹介している時間もございませんので、もう一つだけ御紹介させていただきます。



井筒一図表 24



井筒一図表 25

安政江戸地震

図表 25 は 1855 年 11 月 11 日に江戸直下で発生した安政江戸地震です。この図で示しているのは発光現象の記述なのですが、これ以外にも動物異常であるとか、様々な前兆現象の記録が残っています。有名なのは眼鏡屋さんに大きな磁石が置いてあって、その磁石に釘をくっつけていたら、地震の前に釘が全部落ちたというお話があります。この史料では「大地たちまちに裂け破れ一道の白気発す。その気斜めに飛び去り金龍山浅草寺の五重塔

なる九輪打曲げ散して八方へ飛散、その光り眼を射てすさまじかりし」とあります。九輪というのは、右上の写真のように、五重塔の先についている、避雷針のようなものです。この図にあるように、地割れから白いビーム状の光が五重塔の先端にぶつかって、先端部が曲がったという記述です。九輪が曲がったのもおそらくは地震の揺れによるものでしょうが、この話はわざわざこのような錦絵にかかれるほど、江戸では有名な話だったといわれています。日本にはこれ以外にもたくさんありますが、時間の都合上、省略します。

研究対象としての地震発光（海外）

こういった発光現象をちゃんとした研究対象として見ようではないかという科学的な動きが1750年ごろからはじまりました（図表26）。この時期、イギリスおよび北欧で地震が数多くありました。そのときに発光現象が、空中や地中など、いろいろなところから発生したといわれ、ロンドンのRoyal Academyで地震発光現象は一体何なのかちゃんと考えようということになったのです。この当時のヨーロッパの考え方で、地震電気説というものがあります。これは要するに地面に電気が流れて、その電気エネルギーが地震を起こすのだという考え方です。その電気エネルギーによって地震も起きるし、発光現象も起きるのだというような考え方でした。こういうヨーロッパの地震の考え方は、実は日本にもちゃんと伝わっていて、図表26右の図は『地震預防説』、1856年の書物の1ページです。先ほどの安政江戸地震のちょうど翌年です。これは幕府の命によって、オランダの雑誌を日本語に訳したものです。この図は避震孔というもので、地面の中に鉄の棒を埋めて、地面に

研究対象としての地震発光

1750年ごろ
イギリス及び北欧で地震が数多くあり発光現象が空中にも地上からも現れ、ロンドンのRoyal Academyで問題になった。

地震電気説

哲学者カントの記述(1756年)
「リスボン大地震(1755年)の前兆として、空に激しい稲光が走り、動物たちがパニック状態に陥った。過去のいくつかの地震と同じである」



地震発光現象ワークショップ, 2007/01/26 ©名古屋大学

流れる電気、「地内のエレキテル（越列幾的児）を引き導き、引導柱を伝えて」地上で発散させるシステムです。要するに地面に電流が流れているので地震が起きるのだったら、電流を地面から外へ出してあげようというのが避震孔です。こういうものを作って地震を予防しようとしたという話がありました。

そのころ、ドイツの哲学者カントの記述にはこんなものがあります。「リスボン大地震（1755年）の前兆として、空に激しい稲光が走り、動物たちがパニック状態に陥った。過去の幾つかの地震と同じである」という記述が残っています。この当時ヨーロッパでは地震の前の発光現象、動物異常現象が存在するということが広く知られていたことが分かります。

地震発光についての学術的な論文の最初のもは図表 27 に示しているイグナチオ・ガリー（Ignazio Galli）という人の書いたイタリアの論文です。タイトルを日本語に訳すと



井筒－図表 27

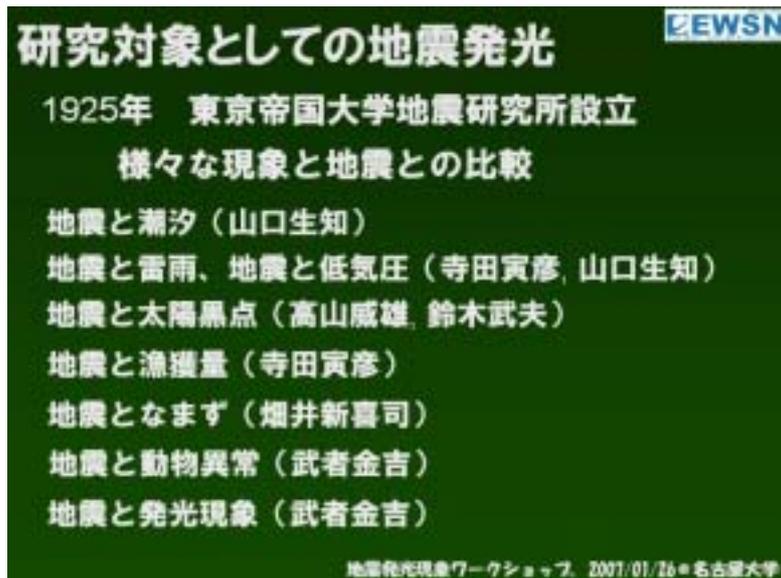
地震(terremoti)のときに観測された(osservati)発光現象 (fenomeni luminosi) の分類(classificazione)コレクション(raccolta)という感じになります。19世紀後半のヨーロッパで発生した148件の地震についていろいろな発光現象の観測例を集めて、表にしてみました。分類パターンとしては稲光に近く、ぱちぱちと光るような瞬間的な光。一定の形を持ち動く発光体。輝く炎および放射。そして空全体が光る、もしくは雲が光っているという空中および雲の発光。それぞれを地震前、地震中、地震後で整理しています。こうして見ると、輝く炎などは地震後が多くて、もしかしたら単なる火事を見間違えている

のではないだろうかとか、瞬間的な光は地震前によく見られているとか、瞬間的な光や動く発光体は地震前や地震中には見られるけれども地震の後にはあまり見られていないなどという感じで、初めて学術的な議論がこのイグナチオ・ガーリーの論文でできるようになったといえます。

19世紀後半に地震学という学問が誕生し、例えば大きな地震が起きると科学的な報告書が出るようになりました。そういう報告書の中でも地震発光が報告されるようになってきました。1906年にチリで大きな地震がありましたが、そのときも地震発光があったということが書かれています。ただし、1906年の報告書を書いた人は、多分山火事か何かを見間違えたのだろうと結論付けています。また、1811年、1812年にアメリカでニューマドリッド地震という大きな地震があったのですが、そのレポートが地震の100年後の1912年に出ています。その中にもニューマドリッド地震で発光現象が見られたという情報が記述されています。しかし情報をまとめた編集者はその当時嵐があったところでは発光現象が見られたけれども、晴れていたところでは見られなかったということもあり、地震発光ではなく雷、もしくは山火事だったのだろうと結論づけています。このように地震学の最初の頃から発光現象の存在は議論の的になっていました。

研究対象としての地震発光（日本）

日本での発光現象の研究はどうでしょうか。1923年に関東地震が起きて、そのあと東京帝国大学に、地震研究所が作られました。今の東京大学地震研究所です。地震研究所の発足時にさまざまな自然現象と地震との比較を行う研究が精力的に行なわれました（図表28）。たとえば地震と潮汐、地震と雷雨、地震と低気圧、地震とお天気、地震と太陽黒点、地震と漁獲量、地震となまず、地震と動物異常、そして地震と発光現象。こんな感じでいろいろなものと地震とを比較検討して、何か関係があるのではないかという研究をやり始めました。この中で地震と発光現象というテーマの研究を武者金吉さんが行ないました。



井筒一図表 28

北伊豆地震

発光現象を研究するきっかけがありました。1930年11月26日の早朝午前4時2分にマグニチュード7.3の北伊豆地震が発生しました。これは丹那断層が動いたと言われており、前震が非常に活発な地震でした。この前日の11月25日の地震の回数は700回を数え、夕方ごろにはマグニチュード5.1という比較的大きな前震が発生していました。

図表 29 は、地震調査研究推進本部のウェブページから引用したのですが、北伊豆断層帯というのが左の図の中央あたりにあって、ちょっと分かりにくいですが、右の図の上のあたりが箱根です。箱根があって、右の図の真ん中に丹那断層があります。下の方が伊東です。丹那断層の左下に韮山というところがあり、ここが非常に大きな被害を受けたと言われています。

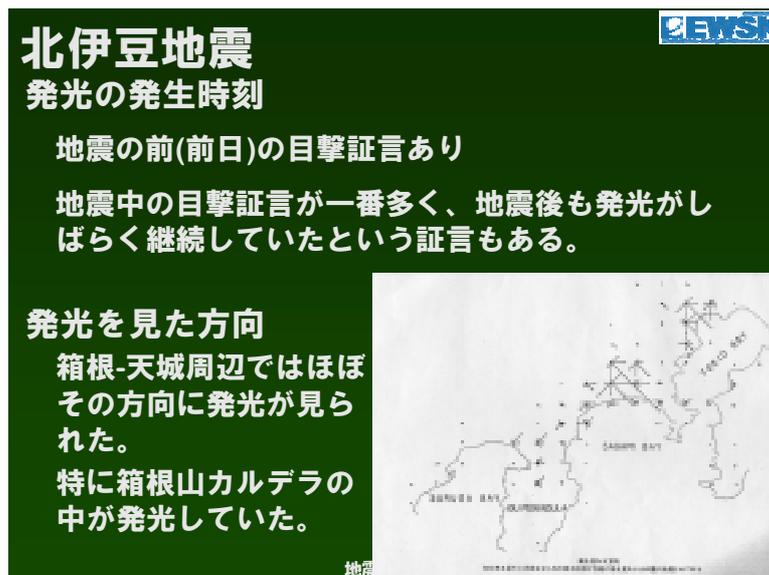
このとき、武者金吉先生は東京にいて地震発光を見ました。揺れで目が覚めて、慌てて外を見たら何かが光っているのを見たということです。武者先生は以前から地震発光に関しては興味があったのですが、このような体験をして、いよいよ地震発光現象を研究しなければいけないということで、地震研究所の所長にお許しをいただいて、東京、神奈川、静岡、千葉の中等学校に発光現象に関するアンケートを送りました。震央付近の韮山のあたりには中等学校があまりなかったので、小学校などにもアンケートを配ってもらうようにしました。回収したアンケートの中からこの北伊豆地震に対しておよそ1500例の発光現



井筒一図表 29

象の目撃情報を抽出しました。これを発光の発生時刻とか、見た方向、形状、色、明るさ、発光したときに音があったか（音響の有無）などの観点から全部整理して、論文にまとめました（武者，1931）。

図表 30 はその結果です。発光の発生時刻は、地震の前（前日）にも目撃証言がたくさんありました。地震の前の発光現象というのは歴史地震の資料にもありますが、北伊豆地震は前震が非常に多かった地震なので、発光現象が本震と関係があるのか前震と関係があるのかの区別はつきません。しかし、本震の揺れている最中や本震直前の目撃証言がいちば



井筒一図表 30

も多く、「光ったのを見てすぐ揺れた」、「地震の揺れと同時に光もゆらゆら揺れていた」というような、地震波とほぼ同時の目撃証言が数多くあります。また地震後も発光がしばらく継続していたという証言もあったということです。

図表 30 右下は発光を見た方向のベクトル図です。市町村ごとに分けて、この矢印の方向が光を見た方向で、矢印の大きさは見た人数を表しています。アンケートを出した中学校によって全校生徒にアンケートをとって返してきてくれたところもあれば、先生の一人が適当に返事を書いて結局1通しか帰ってこなかったところや、そもそも返事が帰ってこなかったところもあって、アンケートの取り方にばらつきがありました。地震の起きたところは図の中央を走る断層で、この辺は箱根山ですから、箱根天城の周辺では地震断層の方向に向かって発光が見られたことが確認されています。特に、箱根の周辺に住んでいた人は、箱根の山が光ったと証言しており、山全体が光っているのではなく、どうもカルデラの中、芦ノ湖などが光っているのが見えたという情報があります。

ただ、問題があるのは、神奈川とか東京の人は、かなりの数の人が海の方に発光を見ているのです。これに関しては武者さんの論文の中でも触れていますが原因ははっきりとはわからないようです。考えられる理由としては箱根からサーチライト状の光が出ていたという証言もあることから、そういった光が海とか雲に光が反射して映って見えたのかもしれない。あともう一つ考えられる理由としては、少し遠いのですが八丈島の方で雷があったことが後で分かっています。もしかしたらそれを見間違えたのかもしれない。そういうことで、少なくとも震源域周辺の人は地震断層のほうに光を見えています。



井筒一図表 31

次に発光の形状とか色に関する結果です（図表 31）。一番多いのがオーロラ状の光です。空が全般的に光るというイメージです。あとは電光状、線状・帯状、サーチライト状・柱状、これは火柱のような形です。そしてラップ状、これは漏斗のように下が狭くて上に広がっている光です。他にも火球状、これは火の玉のようなものが出たであるとか、雲状など様々な形が報告されています。

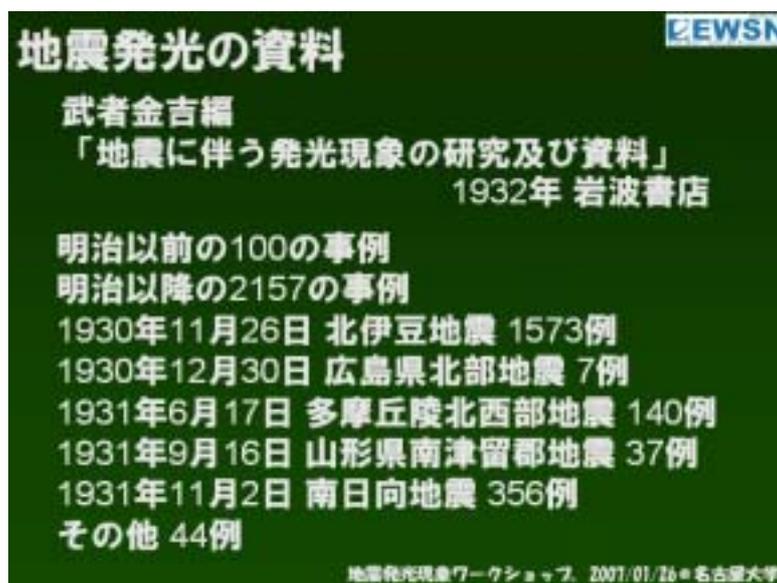
色に関しては青、青でも正確には青白い色というのがいちばん多いです。あとは赤+黄色。黄色。電光色、これは雷の色です。赤と青が混ざったようなピンクっぽい色。青と黄色が混ざったような色。赤色、電灯のようなオレンジの暖かい色。白色、その他という感じでこちらも様々な色が報告されています。基本的には青白いものが多いのと、ちょっと赤系統が多いという感じです。

明るさに関しては震央付近では「腰が抜けるほど明るい」という表現が出ていました。非常に明るかったようです。50km ぐらい離れたところでも、少なくとも満月よりは明るかったという報告もあり、かなりの明るさがあったといわれています。持続時間は人によってばらばらです。2秒ぐらいと言う人もいれば、3分ぐらい光っていたと言う人もいます。ただし、少なくとも稲光よりも緩慢な光が多かったようです。特にこのオーロラ状の場合です。ぱっぱっと一瞬の光ではなく、ぼんやりと光るような緩やかな光だったという意見が多かったようです。

武者金吉さんの調査・研究

このように北伊豆地震を皮切りに、そのあと武者さんはいろいろな地震について調べました（図表 32）。そのあと 1932 年に『地震に伴う発光現象の研究および資料』という本を出版しました。これが 1932 年ですから、昭和 7 年です。このときでこの本の値段が 4 円 80 銭だそうです。小学校の先生の初任給が 50 円ぐらいだったそうですから、今で言うと 1 万～2 万円ぐらいでしょうか。この本の中には地震発光現象の「明治以前の 100 の事例」が収録されています。もちろん先ほど言いました 869 年の貞観の地震なども入っています。また貞観の地震の前にも何例か地震発光かどうか怪しいものについても網羅しています。それから明治以降の事例としては、先ほどの北伊豆地震 1573 例をはじめとして、武者さんが同様に情報を収集した広島県北部地震や多摩丘陵北西部地震、山形県南都留郡地震、南日向地震。そして北伊豆地震よりも前の明治以後の地震（例えば濃尾地震や関東地震など）の 44 例を含めた、明治以降から 1932 年までの 2157 の事例を集めた発光現象の資料を収め

ています。

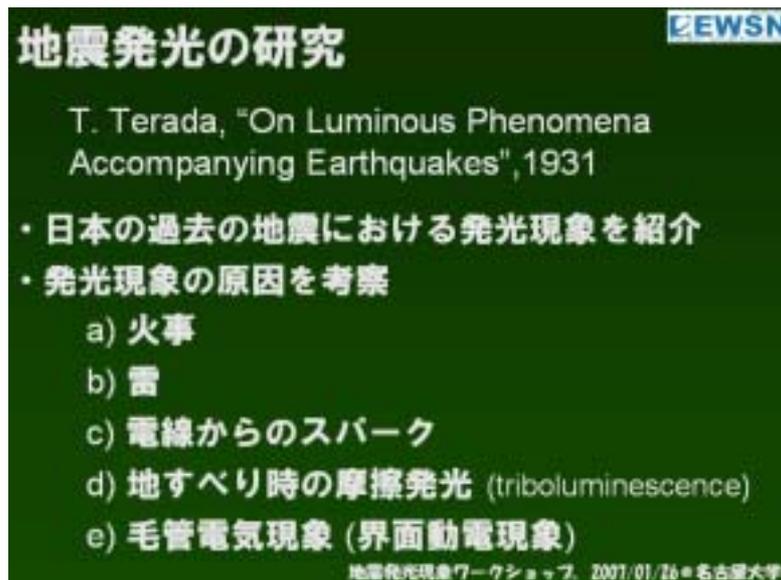


井筒一図表 32

発光現象のメカニズム

このように資料集めを武者さんが行ない、発光現象にはいろいろなものがあるということとは分かりました。では発光現象は一体なぜ起きるのかというメカニズムを考えてみようということで、今度は同じ地震研究所の寺田寅彦先生が、“On Luminous Phenomena Accompanying Earthquake (地震に伴う発光現象)”という論文を1931年に発表しています(図表 33)。この内容に関しては、先ほどの1930年の北伊豆を含めて、日本の過去の地震における発光現象の記録を紹介しており、英文で書かれています。武者さんの論文は日本語でしたので、外国に紹介する目的もあったと思います。この論文は発光現象の原因を考察した論文としては恐らく最初のものです。

寺田論文の中で地震発光の原因として考えられているものの最初にあげられているのは火事です。地震のあとに赤い炎を見たというのは、ただ単に火事を見間違えた可能性があるということです。もちろん歴史史料の中でもこれは火事ではないかなというものもあります。



井筒一図表 33

次に雷。これもやはり見間違える可能性があります。歴史史料にも、「春日大社鳴動す」というものがあります。「春日大社が光って動いた」とありますが、これは地震ではなく、雷鳴などでぶるぶると震えているのではないかということです。

そして、電線からのスパーク。このころには電線がありますから、地震時に断線した高压線からのスパークなどを見間違えている可能性があります。

もう一つ、地滑りのときの摩擦発光 (Triboluminescence) です。これは過去の地震の中でも地滑りのときに山が光るといった記録があります。摩擦発光という言葉は後でまた出てきますが、この場合はたとえばグラインダーなどで石を削ったような、摩擦による熱発光だと思ってください。寺田寅彦はこういう摩擦発光がどれくらい明るいかわかるということで、グラインダーを工学部から借りてきていろいろな岩石に当ててみて、火花を飛ばしてどれくらい明るいかわかるかをこの論文の中で調査しています。地滑りに伴って熱発光があり、それを地震発光であると認識しているということです。

最後にもう一つが、毛管電気現象です。今では界面動電現象と呼ばれています。これは後できちんと説明しますが、石の中、地面の中に水が流れることで電位差が発生して、電気が流れます。この論文の中では地下 100km と地表との間で 3000kV ぐらいの電位差が出るだろうと予測しており、3000kV ぐらいあったら放電するのではないかと書いています。ただし、このパラメーターの見積もりというのは、後でいろいろな人から不適切であると指摘を受けています。界面動電現象に関しては水谷さんの論文が有名ですが、その中でも

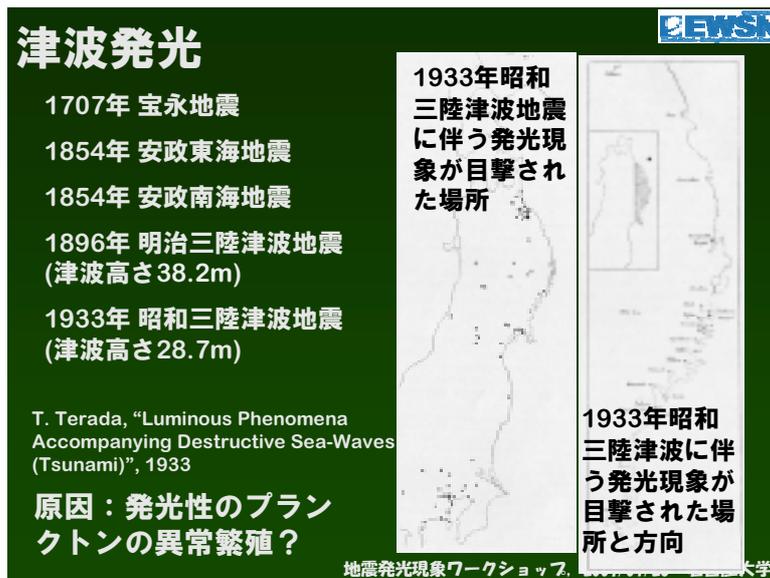
ちろん指摘されています。それはまた後でお話しします。

この寺田寅彦さんの1931年の論文は、いろいろな人に引用され、議論のたたき台となっており、地震発光研究の中で、非常に重要な論文の一つになっています。

津波発光

今まで地震発光の話でしたが、実は地震だけではなく、津波のときも発光するという話もあります。例えば宝永の南海トラフの地震や安政の東海地震・南海地震、明治三陸津波地震、昭和三陸津波地震などで津波が光るという記述があります。特に明治三陸津波地震では津波の高さが最大38.2m、昭和のときも28.7mと、非常に巨大な津波が来たのですが、このときにも津波が光るという話が出ていました。

図表34の左の図は、1933年の昭和三陸津波地震に伴う発光現象が目撃された場所です。右の図は三陸地方の拡大図で、津波のときの発光現象が目撃された場所と方向です。矢印は発光の方向を示しており、三陸のリアス式海岸の奥まったところでは、湾の入り口の方を向いています。そういうところで何らかの発光現象が目撃されています。つまり津波が海から迫ってくるときに、津波が光って見えたということです。海の上ですから先ほどの電線のショートではないし、火事ではないし、雷でもないし、ましてや地滑りでもないし、毛細電気現象でもない。津波が光る原因を、とりあえずこの段階では発光性のプランクトンが異常繁殖しているのではないかという説を出しています。寺田寅彦先生は“Luminous Phenomena Accompanying Destructive Sea - Waves (Tsunami)”という1933年の論文の中で、津波が光る原因は発光性プランクトンだとして、どれくらい発光性プランクトンが増えたらそれくらい光るのですかということをやちゃんと定量的に計算しています。こういうところはやはりちゃんとした科学者です。もちろん、結局なぜプランクトンが異常繁殖するのかということは分からないから第二報を待てというような書き方をしています。結局第二報は出ていないようですが。このようにこの時期は日本でも地震発光の研究が行なわれていましたが、このあとしばらく忘れ去られてしまいます。これ以降の大きな地震、例えば1944年と1946年の東南海と南海地震などでも発光現象はあったらしいのですが、あまり詳しくは研究されていませんでした。

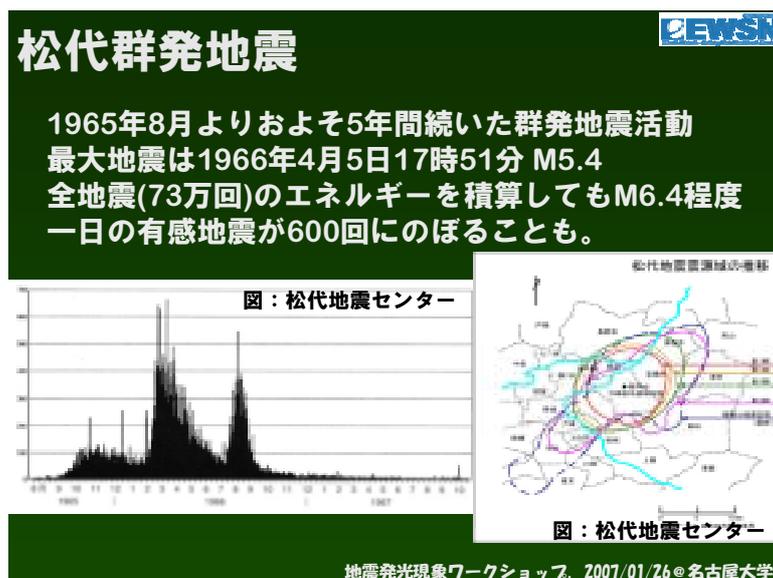


井筒一図表 34

松代群発地震

また発光現象が注目されるようになったのは松代群発地震です（図表 35）。1965 年の 8 月よりおよそ 5 年間続いた群発地震活動で、最大地震は 1966 年 4 月 5 日 17 時 51 分のマグニチュード 5.4。有感、無感合わせて全地震は 73 万回ほどあったのですが、全部のエネルギーを足し合わせてもマグニチュード 6.4 ぐらいの地震になります。

左下の図は 1 日の有感地震を表した図で、日付が横軸で、縦軸は有感地震の回数です。時期によっては一日 600 回以上の有感地震がありしょっちゅう揺れるためノイローゼにな



井筒一図表 35

るような人も出ました。それほど非常に長い群発地震でした。右の図は地震の発生したおおよその範囲を示しています。皆神山を中心として地震が発生していました。

図表 36 の写真は松代地震センターのウェブページから引用させていただきましたが、1966年2月12日の午前4時17分の写真です。2月の午前4時ですから通常はまだ真っ暗ですが、その時刻に、栗林亨さんが妻女山付近で撮影されたものです。「4時17分地震直後松代町西方妻女山付近が仰角5度くらいまでかなり広い範囲（数キロ幅）に夕焼けのごとき色を示し、夕焼けの中でももっとも複雑などす黒い色に見えた。継続時間はおよそ35秒」。これは地震が起きた直後の写真です。揺れがあつて目を覚まして、外を見て明るかったからすぐ撮ったという感じです。

もう一つが、図表 37 です。こちらは1967年9月26日の夜中の3時25分。奇妙山一帯撮影とあります。「3時25分自宅より東方愛宕山、尼飾山、奇妙山、立石山、皆神山、ノロシ山一帯が96秒間白色蛍光灯のごとく山に沿って光った」と。真ん中が白くて周りが青い色にみえます。いちばん輝いたときの40秒間は、満月の明るさの3倍ぐらいであり、腕時計の秒針がはっきりと読めるぐらいであったと記述されています。ほかにもいろいろ写真があるのですが、特にこの写真は非常に有名で、いろいろな雑誌などに載りました。こういう写真という証拠があつて、ここでようやく地震の発光現象の存在が一般に認知されたといえます。



井筒一図表 36



井筒一図表 37

もちろんこれは学術的な雑誌にもいろいろ紹介されました（図表 38）。一番上は安井さんの論文ですし、Derrさんの“Earthquake Lights”という地震発光に関するレビュー論文にも出ています。1986年のNatureに載ったDerrの“Luminous phenomena and their relationship to rock fracture”という論文にもこの写真が使われています。

もちろんこういった学術的なものではなく、一般向けにも地震発光はよく知られるようになり、例えば「サンデー毎日」などの週刊誌にも記事が掲載され、朝日新聞などにも図表 37の写真が出ています。この写真を撮られた栗林さんの本業は歯医者さんなので、「松代のなぞの発光現象について」という日本歯科医師学会の座談会が開かれて、その雑誌の



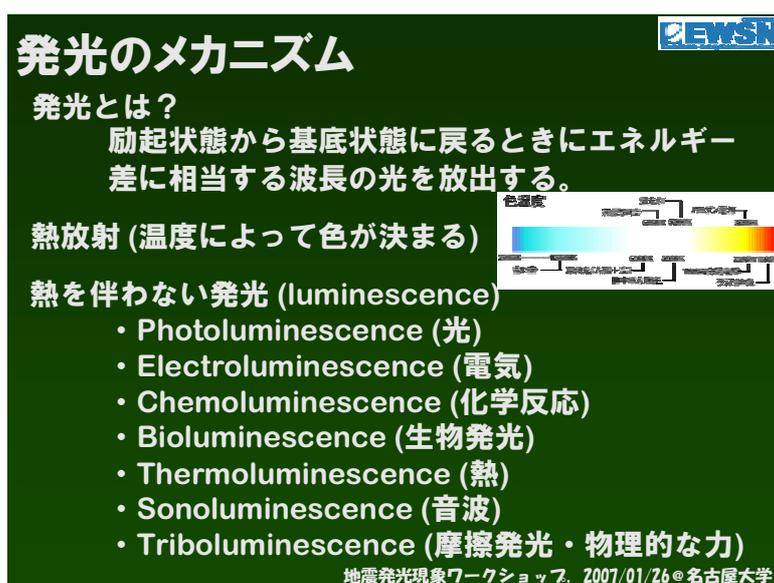
井筒一図表 38

記事になっているということもあります。さらには1966年12月25日号の「少年マガジン」に2ページ特集で「深夜に光る怪光のなぞ」というような感じで記事が書かれています。右下の図がその当時の少年マガジンの表紙です。ちょうどウルトラマンの本放送の時代です。この松代の写真のおかげで地震発光現象というものがやっと認められてきました。

発光のメカニズム

この時代からようやく、何故光るのかということこれから考えましょうということになってきたのです。まず発光のメカニズム（図表 39）に関してお話しします。そもそも発光とは何か、物が光るといっているのはどういうことでしょうか。一言で言えば励起状態から基底状態に戻るときにエネルギー差に相当する波長の光を放出します。物が光るとはこういうことです。要するに何らかの原子なり、分子なり、そういうものがエネルギーをもらって励起すると、エネルギーレベルがちょっと一段上がる。しかし、それは不安定なのですぐ元に戻ってしまう。その元へ戻るときに、エネルギーの段の高さに応じた波長の電磁波を出す。それが可視光であれば光になるわけです。

いちばん分かりやすいのは熱放射です。温度によって色が決まっています。図表 39 の右の図で示すとおり、例えばろうそくの炎などは黄色とか赤です。炎の中のすす等は大体この図の右側のほうの温度なので、黄色とか赤に見えます。太陽が光というのは大体この図の真ん中あたりです。青白い星というのは温度が高く、赤い星は温度が低いというのがあったと思いますが、まさに温度によって色が決まっています。ちなみに雷が光るのも、

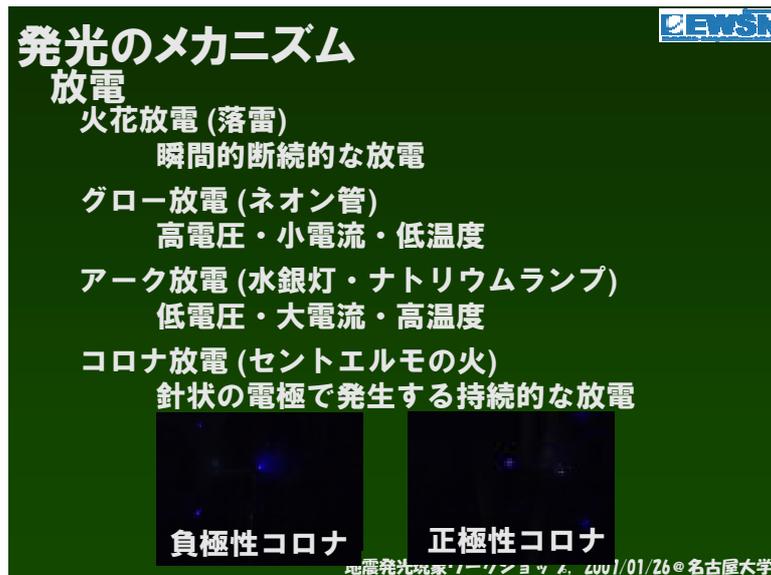


井筒一図表 39

雷によって空気が暖められ、空気が2万度から3万度ぐらいまで上昇するので青とか青白い色になって光って見えるということです。

もう一つ、熱を伴わない発光をルミネセンス (luminescence) と言うのですが、こういうものもあります。ルミネセンスにはいろいろあって、普通の状態から少しエネルギーをもらって励起状態になるのですが、このエネルギーをもらうときにどのようにしてエネルギーをもらうかによっていろいろルミネセンスの種類があります。

まずフォトルミネセンス (Photoluminescence)、これは光エネルギーです。光というのは可視光だけでなく紫外線も含まれます。有名なのは蛍光塗料などです。蛍光塗料は紫外線を吸収して光を出しています。蛍光灯の内側に塗られているのなどがそうです。次にエレクトロルミネセンス (Electroluminescence) は電気エネルギーです。電場をかけると光が出ます。これは発光ダイオードに使われているものです。半導体にも使われています。ケモルミネセンス (Chemoluminescence) は化学反応です。有名なのはルミノール反応でしょうか。ルミノールという化学物質と過酸化水素水をアルカリの中で混ぜます。そのときに血液に含まれる鉄とか、そういう特殊な金属の触媒があると光るわけです。反応の際にエネルギー準位が高い状態のルミノールができて、それが光るのがルミノール反応です。バイオルミネセンス (Bioluminescence) は生物発光です。蛍の光などがそうです。ルシフェリンなどのルシフェラーゼという酵素があって、ルシフェリンが光ります。これは化学反応のうちの一つです。サーモルミネセンス (Thermoluminescence) は熱です。熱ルミネセンスというのは先ほどの熱放射とはちょっと違って、熱を与えることによって、それまで被爆した放射線量に応じた光を出すことが知られています。これは年代測定などにも使われており、TL法というものです。あとはソノルミネセンス (Sonoluminescence)。音波によって光が出ます。これは後で鴨川さんに詳しく説明してもらいます。トライボルミネセンス (Triboluminescence) は摩擦発光です。先ほど摩擦発光のとき、摩擦熱で光るというのがありましたが、こちらのトライボルミネセンスは物理的な力で光るという意味です。これは加藤さんがこのあとお話ししてくれると思いますが、砂糖の結晶を暗闇の中で割るとうっすら光ります。そういうものとか、ガムテープをすごい勢いでびりびりとはがすと、ガムテープの間で光が出ます。ガムテープが引っ張られると、分子がゆがむので、それがぱちんと元に戻るときに、分極したものが急に戻る。そうすることによって電子が飛び出て空気が電子にぶつかって励起して発光して青く光るという仕組みです。これがトライボルミネセンスです。摩擦発光と訳されますが、基本的には物理的な力で発光するもの全般



井筒－図表 40

を指しています。

とにかくこのように発光にはいろいろあるのですが、いちばん発光のメカニズムとして考えられるのは放電です。これは最初の方でお話した 1750 年の Royal Academy でもそうだったように、こういう放電現象がいちばん発光の原因として考えやすいだろうということです。

放電といってもたくさんあります (図表 40)。例えば火花放電。落雷などがそうですが、瞬間的、断続的な放電です。一瞬だけぴかっと光って大電流が流れて終わります。次にグロー放電。これはネオン管とかグロー球とかで使われています。放電管の中の気圧を下げる必要がありますが、非常に高い電圧で、小さい電流で、管内の温度は低い状態の放電です。次にアーク放電。水銀灯とかナトリウムランプなどがそうです。低電圧で、大電流、管内の温度は高くなります。蛍光灯などもアーク放電です。

もう一つがコロナ放電です。セントエルモの火などとよく言われますが、針状の電極で発生する持続的な放電です。避雷針などもそうですが、導電体である針の先というのはすごく短い距離で電位差がすごく大きくなります。そうすると電場がすごく強くなって、それによって放電が始まります。コロナ放電は左下のような絵になります。これは負極性コロナです。中央付近に針状の電極があって、そこから光が拡散的に広がっています。負極性というのは負の電極で、負の電極は電子が飛び散るので、その軌道と同じような形で電極から外へ外へと放射状にコロナが広がっています。右下の図は正極性コロナです。ちょ



井筒一図表 41

っと分かりにくいですが、丸っぽい形です。これはプラスの極ですから、周りから電子が電極に入ってきます。そうすると周りから押さえ込むような形になってこういう丸い形のコロナができます。コロナ放電はこのように青い火の玉のような形です。雷の前などに嵐の海などに出ていると、帆船の先や帆先などのとがったところに放電が起きてこういう青い火がともるわけです。こういうものを「セントエルモの火」と昔の船乗りは言っていました。

このような放電によって発光現象が起きるのではないかと研究したのがこの Finkelstain and Powell の“Earthquake Lightning”です。これは「Nature」の 1970 年の論文です（図表 41）。Terada（1931）は流動電位によるメカニズムを提唱していましたが、彼らの理論は地震波の圧力で石英質の岩石に圧電効果が引き起こされ、これによって数十メートル離れたところに逆符号の電荷が発生するとしています。つまりプラスとマイナスが少し離れたところに発生して、この両電荷が空中で放電するという理論を考えました。それによって光って発光現象が現れるということが「Nature」で発表されました。

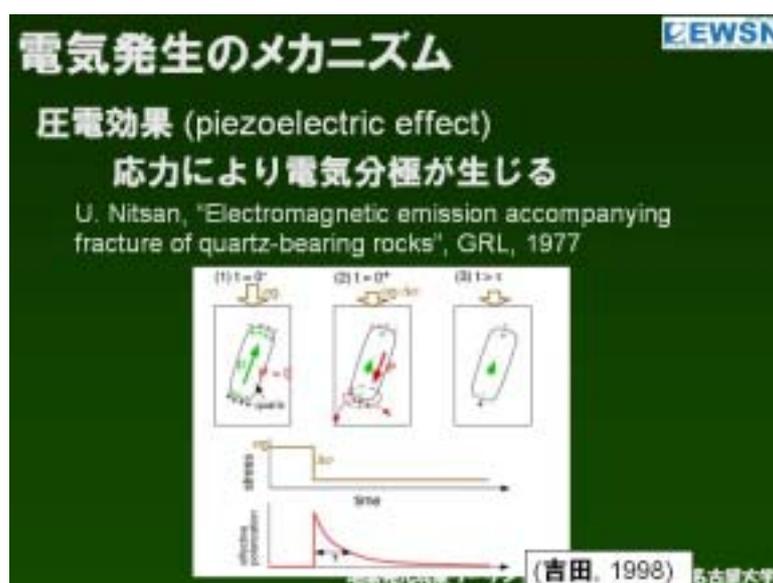
この Finkelstain と Powell は、1970 年にこの論文を出して、1971 年のモスクワの IUGG の総会でこの発表をしました。しかしながら IUGG で発表したら、その場ですぐに反論が来しました。地中の電気抵抗は 1000 Ω m ぐらいしかないのだから、電荷が少しはなれたところにプラスとマイナスがあったとしても、地面の電気抵抗のほうが小さいのであれば地中を流れて放電してしまい、空気中で放電しないのではないかと指摘されました。こう言われ

てしまって Finkelstain と Powell は、返事に困ってしまったという話もあります。実際に空中放電するためには地面の電気抵抗が非常に高くなければならず、かなり条件が厳しいのです。ほかにも発生する電流の周波数がメガヘルツ程度の非常に高周波な電流であれば空中放電する可能性はあるのですが、さすがに地震波ではメガヘルツの変動は起きませんから、それは無理でしょうという話になって、この話はこれで終わっています。これ以降、発光のメカニズムとしては放電するにしても、その前段階としてどうして電気が発生するのかという話になっていきます。

電気発生メカニズム

ここから先が電気発生メカニズムです。圧電効果は先ほど少し触れましたが、岩石に応力をかけると結晶内に電気分極が生じます。これは Nitsan の“Electromagnetic emission accompanying fracture of quartz-bearing rocks”、GRL に掲載された論文です。これは岩石破壊実験で石を壊したところ、電磁波が出ますという論文です。特に圧電効果の高い水晶（石英）が多く含まれている岩石は破壊したときに強い電磁波が出て、あまり含まれていない岩石は電磁波はほとんど出ませんでしたという論文です。ということは、この電磁波の正体は、ピエゾ電気によって電荷が発生しているのであろうといえます。

この研究は現在ではもう少し進んでいて、図表 42 は東京大の吉田真吾さんの月刊地球の論文です。圧電効果というのは、圧力がかかると水晶の結晶が分極して両端にプラスとマイナスに分かれるわけです。ただ、分かれるのですが、この水晶の周りにはいろいろな自由



井筒一図表 42

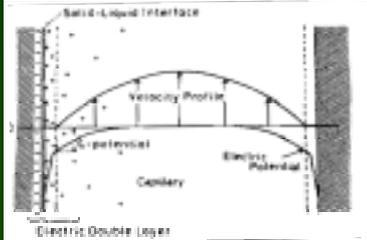
な電荷があるので、その自由な電荷がすぐに中和してしまいます。そうすると外から見ると電気的にはプラスマイナスゼロになっています。ところが圧力が（２）のところでは急に落ちると、圧電効果が急に減ってしまい分極した電荷が少なくなってしまいます。そうすると今まで中和するために結晶の周りに集まっていた自由電荷が取り残され、過剰になった電荷はどこかに移動してしまいます。最終的には（３）のように落ち着きます。この結晶の周りの自由な電荷を補償電荷と言いますが、現在波はこのような補償電荷が外へ出たり動いたりして電流が流れたり電磁波が発生しているのではないかという考え方がされています。

次に、界面動電現象です（図表 43）。これは寺田寅彦さんの 1931 年の論文と基本的には同じです。流体と固体面の境界である界面に電気二重層が生成されます。これは固体と液体の間で、固体にはマイナスがたたくさんたまって、液体にはプラスがたたくさんたまります。これに水がこの図では下から流れます。水が流れると、流体にプラスの電荷がたまっていきますから、プラスの電荷もいっしょに流されます。水の圧力が強いと、水が早く流れ、そうすると電荷も早く流れる、つまり電圧が高くなるということです。水圧と電圧との間で左の式のように比例関係ができるのが流動電位のポイントです。これは水谷仁さんほかの”Electrokinetic Phenomena Associated with Earthquake”という GRL に掲載された論文です。

この水谷さんの論文の中でも 1931 年の寺田寅彦の論文について言及があり、寺田寅彦の考え方はいいのだけれども、実際、水圧はそれほど大きくないだろうという指摘をしてい

電気発生メカニズム

界面動電現象 (electrokinetic phenomena)
 界面に電気二重層が生成され水が流れること
 によって流動電位 (streaming potential)
 が発生する



$$\nabla E = \frac{-\epsilon \zeta}{\eta \sigma} \nabla P$$

ϵ : 誘電率 η : 流体の粘度度
 ζ : ゼータ電位 E : 流動電位
 σ : 電気伝導度 P : 流体の圧力

Mizutani et al., "Electrokinetic Phenomena Associated with Earthquakes", GRL, 1976
 地震発光現象ワークショップ, 2007/01/26 ©名古屋大学

井筒一図表 43

ます。この界面動電現象自体は岩石破壊実験とか地震予知というよりも、ダイラタンシー理論などが出てきて、地震の発生には水が重要な役割を示しているという話が出てきた時期でした。水谷さんの論文の中では、地震予知に地震発光が使えるなら、逆に断層に水を流して地震をコントロールしようなどということも少し書いています。

ほかにも小河さんの接触帯電（図表 44）があります。現在は京大総長の尾池先生が、地震の前に電磁波が出るという研究をやっていて、どのような理論で地震前に電磁波が出るのだろうということで岩石破壊実験をしました。それで先ほど述べた圧電効果の場合でも電磁波が出るし、それだけでなく、図に示すような接触帯電によって電磁波が出るという理論を考えました。ちょっとややこしいのですが、「異なる2物体が接触すると、フェルミエネルギーの高いほうから低いほうへと電子が移動する。逆に離すとその逆に電子が移動して帯電する」とありますが、イメージ的にもものすごくおおざっぱに誤解を恐れずに言うと、電荷をたくさん持っているものと電荷をあまり持っていないものをくっつけると、電荷が移動して、電荷の数が平均化されます。それでまた離れると元に戻るのので、そのときにまた電荷が移動します。そのように物がくっついたり離れたりするときに、電荷が移動するという事です。つまり岩石中のクラックが開くときに電荷の移動が生じて電磁放射が起きるという理論です。

ほかには帯電エアロゾルによる放電です。圧電効果によって電荷が発生して、開口したクラック内の空間と間隙水との間、つまりクラックが開いた瞬間はその中の気圧は非常に低くなっています。気圧が低いと放電しやすくなるので、そこで放電が発生するのではな

電気発生メカニズム

接触帯電 (contact / separate electrification)
異なる2物体が接触すると、フェルミエネルギーの高いほうから低いほうへと電子が移動する。逆に離すとその逆に電子が移動し帯電する。つまりクラックが開くところで電磁波が出る。

Ogawa et al., "Electromagnetic radiation from rocks", JGR, 90, 6245-6249, 1985

帯電エアロゾル
圧電効果によって電荷が発生し、開口したクラック内の空間と間隙水との間でグロー放電が発生。その際に帯電エアロゾルが大量に生成される。

H. Tributsch, "Do aerosol anomalies preced earthquakes?", Nature, 606-607, 1978

地震発光現象ワークショップ, 2007/01/26 ©名古屋大学



井筒一図表 44

いかという理論です。水に向かって放電すると、そこでは帯電エアロゾルが出やすくなります。今で言うマイナスイオン製造機などというのは、水の近くでコロナ放電させて、このような帯電エアロゾルを出しているのですが、これと同じようなものが地震断層で生成されるということです。こういう帯電エアロゾルが大量に出てきて放電を起こして地震発光になるのではないかという説です。この理論の提唱者である Tributsch さんは本来動物異常を主に研究している人なので、帯電エアロゾル、特にプラスのイオンが生成されて動物が不機嫌になったりするのではないかと考えています。マイナスイオンが心を落ち着けて、プラスイオンがいらいらを増すというような話はこのころからありました。基本的に発光現象の原因は一応電氣的なものであると考えられているというのが今までの大体の歴史です。おおざっぱに今までの歴史と言うと、このようになります。

まとめ

まとめです（図表 45）。地震に伴う発光現象は古来より世界各地で目撃されています。地震学の発生とともに 20 世紀初頭より、休み休みですが、科学的な考察が行われてきました。1965 年から始まる松代群発地震のときに、発光現象の写真撮影に成功しました。このときやっとな地震発光現象の存在自体に懐疑的だった人にもだいぶ存在が認められたのではないかと思います。以降、岩石破壊実験などの結果をベースに、発生メカニズムがちゃんと議論されるようになったというのが今までの大まかな流れです。ここから最近の研究の話は鴨川さんに、岩石破壊に関しては加藤さんにお任せしたいという形で、後半に続くということで私の話は終わらせていただきます。ありがとうございました（拍手）。

まとめ EWSN

地震に伴う発光現象は古来より世界各地で目撃されている。

地震学の発生とともに20世紀初頭より科学的な考察が行われていた。

1965年より始まる松代群発地震の際に発光現象の写真撮影に成功し、存在が認知された。

以降、岩石破壊実験などの結果をベースに発生メカニズムが議論されるようになった。

地震発光現象ワークショップ, 2007/01/26 ©名古屋大学

質疑応答



(石川) 松代地震センターの石川です。最初に苦情です。うちのホームページの図が使われていて、出典を書いているものもあったのですが、書いていないものもありました。引用する場合は、きちんと出典を書いて頂きたい。

それと発光現象に松代地震の写真、栗林さんのものを出されていましたが、あの写真があると全部地震のときに発光現象があったのではないかと逆に誤解されると思います。発光現象自体はあったのは事実ですが、地震との対応もあまりはっきりしていない。一つは、確かに揺れてから撮ったとかかかれています。もう一つは地震の対応があまりないのです。調べた限り、地震ときちんと対応していないのです。かつ、安藤さんにも手記を送ったのですが、栗林さんは四六時中カメラを持って地震があったら撮れるようにということで、昔の一眼レフですら2～3分で取れるように習熟したと書かれていますし、それで、どういう確率で撮れたかというところは何百分の1回しか撮れていないのです。ですから、発光現象自体はあるけれども、非常に珍しい現象である。ですから、私などが思うには、松代地震というのは、地下での水とか流体の非常に大きな現象があって、その一部としてたまたま地震がたくさん起こっていて、我々が感じているけれども、発光現象は地震と結びつける必要はなく、本来、地下水現象のほうに起因するのではないかと考えています。ですから、地震と発光現象という格好でやられると、発光現象自体はあるのですが、地震と直に対応しているかどうかはまた別の問題であるということです。

(阪口) 今のご意見とまっこう反対なのですが、この手の発光現象、この手の写真は確かに確率的に必ずこれと地震が連動しているかどうかということをするには言えないと思いますが、私が直視した揺れる前から揺れている間の、本当にこの世の終わりのような空の色をずっとしていた、その赤白い色というのは、僕が生きている時間ですのでスケールで言えば短いですが、あのとき以外、見たことがないということと、それから赤い光が火事だとか言う人がいるのですが、火事はあの地震の翌日も翌々日もずっと続いていましたが、あの赤白い光が火事によって作られるはずがない。例えば昼間に火事が起こると、私はオーストラリアで山火事というか、大火事を一度経験したことがあります。そうすると日食のようになります。逆に真っ暗になるのです。昼間が夜になってしまうのです。そ

れから、神戸の地震のときも翌日と翌々日に、六甲に親戚がいるので、山を登っていったときに眼下は全部火事なのですが、燃えているところは確かに赤いですが、空が真っ白になるほど火事からは輻射熱は出ません。先ほども寺田寅彦の論文で、赤白は火事説もあるよという話でしたが、火事が空全体を赤白くするほどの熱は出さないはずです。そんなことはないので、青白い発光現象というのはほかにも原因があると思いますが、空全体が真っ赤というか、赤白い色になるような現象をほかで聞いたこともないし。私が生きている時間は短いですから、確率の問題だとは思いますが。

(石川) 今言われたように、この世の終わりではないかという印象を持たれたといわれましたが、実は栗林さんもそういうことを書かれています。最初の発光現象を見たときに、この世の終わりではないか、逃げなくてはとか、全部爆発するのではないかという印象を、発光現象で持ったと書かれています。ですから、そういうことは多分あると思います。ただ、私は、地震を直接結びつける必要はなくて、地下の現象として何かがあって、それでたまたま地震も起きる場合もあるということであって、地震の原因が発光現象とか、発光現象を調べれば地震の予知ができるなどと思うのはおかしいということを行っているのです。

(河野) 福山大学の河野です。地震と直接関係させないほうが良いというお話は、いろいろな資料を調べられて、松代におられるかたが言われるのですから、そういう関係性がないのかもしれませんが、いろいろ資料をたくさん出された中に、ここで起こって発光現象が観察されているという、幾つか例がありましたね。あれはすべてマグニチュードが分かっているのではないかと思います。マグニチュードはどのようになっているかをお調べになっていますか。私が感じているのは、もし地震と関係があるとするならば、非常にエネルギーの強い地震のときに発光が起こるのではないかと感じております。そういう意味で電磁波を測っているのですが、光も電磁波のエネルギーがいちばん高い状態ですので、マグニチュードの低いところでは普通の電磁波のキロヘルツだとか、そういったところが出るのであって、光のような強いエネルギーを持つ電磁波というのは、マグニチュードが7とか8とか非常に強い場合にのみ、直前に出るのではないかと感じております。井筒先生は、たくさん各地の古い資料を出しておられましたが、それはマグニチュードも載っているのではないかと思います。

(井筒) 図表 32 は、例えば先ほどの武者金吉さんの本の中にあつたいろいろな本の資料

です。こちらの図表 46 は発表ではまだ出していなかったものです。このような感じで、鎌倉地震や元禄地震、越後高田地震などいろいろあるのですが、ある程度マグニチュードが大きくなると被害が出ないから記録に残らないので分からないのです。あと、マグニチュードも昔の地震なのでちゃんと分からないのです。マグニチュードが7なのか8なのか分からないし、震源の位置がちょっと遠かったらマグニチュード8ぐらいにしなければ被害と会わなくなるから変更しなくてははいけない。結局、震央の位置も被害の記録があって、震度で調べて、震度の同心円を書いて中心あたりを震央にしようという作業になります。また、どうしても深さなども正確に分からなくなってしまいます。そういうところで、マグニチュードがまず不定性であるということ、それである程度大きくなると記録に残らないから、小さい地震に対して発光現象があったか無かったかに関しては分からないということになります。このような歴史史料はたくさんあるのですが、どうしてもそうなる。少なくとも明治以降の地震では、マグニチュードや震源がある程度しっかり分かっているのですが、ちゃんと系統立てて一生懸命調べたのは、結局武者金吉さんぐらいしかいないわけです。1500 例も精力的に集めたなどというのは他にないわけです。やはりそういうところが問題です。こういうことを片っ端から調査すれば何か分かるかもしれませんが、根本的に発光現象ですから、ある程度暗くないと分からないし、夜に起きてくれていないと分からない。揺れで目が覚めてぱっと見て、明るい、光ったというのはもちろんありますが、みんな寝ていたりして目撃者が少ない。そういう意味で、非常に難しいでしょう。これはこのあと鴨川さんのお話にもありますが、今日では、日本は夜も非常に明るいですか

地震発光の資料	
1257年	鎌倉地震
1703年	元禄地震
1751年	越後高田地震
1828年	越後三條地震
1830年	京都地震
1847年	善光寺地震
1855年	安政江戸地震
1891年	濃尾地震
1896年	三陸津波地震
1917年	駿河遠海地震
1923年	関東地震

地震発光現象ワークショップ, 2007/01/26 @名古屋大学

井筒一図表 46

ら、なかなかそういう調査は難しいと思います。ともかく、マグニチュードは大きくないと出ないであろう、大量の電荷が出るだろうというのは、イメージ的にも岩石破壊実験的にも間違っていないと思いますが、実際そうかということと分からないというのが実情です。

(安藤) 石川さんが言われた松代の地震はある意味では特別な地震ですよ。あれがすべての地震の代表でもない。むしろ松代の群発地震のほうが珍しい。ただ、もしもそういう発光現象が地震に関係ないとしたら、1945年三河地震の例などは奇妙です。地震後何十年も経ってからの聞き込み調査ですが、光りを見たと言う人がだいぶいました。そうすると、発光現象は地震に直接結びつかないのに、たまたまある時期、この地域で続いて起きたことになります。そんなことがあるのでしょうか？

(井筒) 難しいですね。けっこう日本でもオーロラとかが見られていて、北海道などでは赤いオーロラが見えたりします。東北でも見えるところがありまして、そういうのが記録として残って、たまたま地震と同時に発生していて、この武者金吉さんの資料に残っているのはあります。「前の日から空が赤かった」と。ただし、これは後日オーロラであると、ちゃんと注釈が書いてあります。極光と書いてありますので、そういうのはあると思います。ただ、雷と見間違ったというのもあり、判断するのは難しいですね。結局、これも心理学的な話になってしまうのですが、地震があったから覚えているのだという話もあったりして、そういうことはあるでしょうね。

(石川) 先ほどの松代の二つの例のうち、一つは明らかに地震と対応がないのです。そういう意味では、松代群発地震の期間には起こっているけれども、直接的に地震と対応して例はないのです。非常に小さな地震でもない。

(井筒) たしか地震が起きたのは3時17分と30分ですね。光ったのは、8分前と5分後です。地震と地震との間で、この写真はコサイスマック（地震時）ではないのです。

(石川) もう一つ。先ほどマグニチュードとの関係も言われましたが、写真が撮られたもう一つの地震のほうも、実際に撮られた時間は、地震発生後です。この地震自体は大きくないのです。松代地震の大きな地震のときには、発光現象というのは昼間だったか、私もちょっとチェックしていませんが。

(井筒) あれは5時だったはずですよ。

(石川) だから、あったら見えているとは思いますが。

(井筒) マグニチュード5.4は夕方5時51分ですから、ちょっと分からないでしょうね、

4月ですから。

(石川) あと5クラスが少しあるのですが、ちょっと時間は確認していないので分かりません。

(井筒) 僕も分かりません。

(石川) それほど大きくないものだったと思います。

(上田) 議論はとても要点を突いているように思います。光ったけれども地震がなかったということがあるかと安藤さんがお聞きになった。もう一つ、石川さんが言われたことで非常に大事なものは、ものすごく大きな地震が夜起こって光らなかったことがあるかということですよ。大きな地震があったら光ったことは事実で、何人も証人がいらっしやるけれども、大きな地震が夜あってだれも見なかったという地震があるかと言われると、ないとも言えないし、あるとも言えない。なかなか難しいですね。みんなが起きていなかったかもしれないし。ですから、非常に難しいのですが、そういう意味から言うと、その松代のかたは毎晩一生懸命見ておられたのだから、かなり sizable な地震が起こったときには光れば見えたでしょうね。ところが、ごらんになっていないのがたくさんあって、数百・・・。

(石川?) これだけしか撮れなかったということで、数百分の一だったわけです。

(上田) それは非常に大事な情報だと思いますが、そうすると今度は安藤さんのようなかたが、あの地震は特別だからとおっしゃるから非常に難しくなってくることは間違いないのだけれども、非常に重要なものは、きっとものすごく大きな地震が夜近所で起こってくれるのを待って、一生懸命になって。いまどきスーパーなどで四六時中監視しているものがありますよね。地震計を並べるのも大事かもしれないけれども、空じゅうそうやっていればいいと思います。

(米田) 夜でないと観測できないわけですが、真っ暗なトンネルとか地下室で、そういう地震と関係するような発光現象があるということはないのでしょうか。

(井筒) 僕が調べた中で、武者金吉さんの「地震」に載った論文で「南米土人の地震予知」などというテレビでは放送できないようなタイトルのものがありました。そこは地元の炭鉱夫が掘っていると何か光ったり音がしたりして、それで地震だと思ってすぐ逃げるらしいのです。そういう話があるということはあるようです。炭鉱とか、暗いところだと光るのが見えるということはあるかもしれませんが、他には特に聞いていません。南アメリカの金鉱山研究グループとかから誰か話を聞いていませんか。立命館の小笠原先生あたりに聞いてみないと。

(石川) 唐山地震のときも、あそこには炭鉱があるのですが、その人たちは何も光ったのは見ていないという話です。唐山地震は3時40何分ぐらいで、夜中なのですが、光ったのを見たというのは列車を運行している人だけで、ほかの人は見ていないのですよね。

(米田) ちょっと半信半疑のところがあって、そういうものだったら常時観測などをしてデータを取れば、ほかの原因がないから、かなり客観的なのではないかという気がします。

(石川) ちなみに何回も出てきた松代地震では、うちは大坑道といって、大本営が移転してくるために造った大きなトンネルがあって、当時は毎日朝夕に入って、そこで観測しているのですが、みんな音にびっくりして怖いというのは言っているのですが、光を中で見たと言う人はいませんでした。

(加藤) 栗林さんの撮った写真には発光の長さの記述があります。一つは三十数秒で、もう一つは1分半ぐらい。ほかに、どれぐらい長く光ったなどという定量的な記録のある地震はあるのでしょうか。

(井筒) 発光の継続時間に関しては、先ほどの北伊豆地震などの資料にあります。武者さんが調べたものでは、北伊豆地震とか広島北部地震とかではけっこうありますが、それでも閃光という人もいれば、先ほどのように2秒~3分と言う人が多いですね。人によっては2時間ぐらい光りっぱなしと言う人もいるので、その辺はちょっと怪しいですが、大体数十秒ぐらいのオーダーが多いようです。

(辰巳) 質問や意見が幾つかあります。今、議論をお伺いしていて、偉い先生ばかりなので大変恐縮ですが、まず天文のほうで、大きな流れ星が時々飛ぶことがあって、それが隕石の落下につながることもあるというので、日本の数か所で全天カメラといって360度か180度、空全部を一晩中観測しているカメラがありますので、もしかしたらそういうのに何か写る可能性があるかもしれないということをお伝えしておきます。

それから、マグニチュードが大きいほど発光するのではないかという話ですが、私は個人的にそれはそうかなとも思いますが、マグニチュードが大きな地震というのは断層面が長い、大きいということですから、破壊が順番に伝わっていく、つまり破壊の瞬間自体はそんなに大きなマグニチュードではない。マグニチュードが1けた落ちるのかどうか、そこまで定量的なことは言えませんが、大きな地震とはいえ、少し小さな地震の集まりと考えられないかと思いました。

この先は質問なのですが、まず発光現象の見られた地震というのは、断層が地表に露呈

している、地表に出てきたものかどうかという統計はありませんか。というのも、断層が地表に出てこないで地下でぱかっと割れてかりに光ったとしても、それは土の下なので見えにくい、見えないと思います。そういう統計はありますか。

(井筒) 統計と言うほどではありませんが、断層面が露出しているのもあれば、露出していないものもあります。ですから、先ほどの1855年の錦絵で出ていた、浅草寺が曲がったものは、地割れから光が出ていますね。これは断層面ではなくて、地割れが起きて、そこから光ったという形になっています。ですから、必ずしも断層面からというわけではない。断層が地上に出たら光るかなどという統計も、おそらくきちんとは取られていません。統計を取るほど数はそんなに多くないかなという気はします。ただ、兵庫県南部地震に関しては、一次の講師の鴨川さんは榎本さんの話をなさいますか。今日はしませんか？— そういう断層面上にやけどの跡のようなものがあったということはありません。そういうのがもしかしたら光ったあとなのかもしれないという話があるにはありますが、そのあたりはまだ統計を取るほどの数の事例は取られていません。

(辰巳) 兵庫県南部の断層というのは、割と浅いところにあり、淡路島の野島断層のトレンチしたところぐらいですね。あの断層記念館の近くですよ。

(井筒) 僕も榎本さんの論文は詳しくは調べていないのですが。

(辰巳) ぱっと見たところ、浅いところは泥のようなもので、あまり岩が割れたという印象ではなかったのですが、それでも発火のようなものは起こるのでしょうか。地滑りと同じ考え方ですか。はい、ありがとうございます。

もう一つ、たくさんで申し訳ないのですが、岩と岩の間に水流があって、そこに電位が流れて、界面動電現象。これは地下でそんなべったりとくっついている断層が、水が流れるほど開いているのかが疑問なのと、それからその間にガウジというか、断層粘土とか、そういうものが入っていると思いますが、そういうものに対する考察というか、ガウジについて何か考察はありますか。

(井筒) この辺の時代背景的には、ダイラタンシー理論などがあって、要するに岩石内でマイクロクラックが開いて、空隙ができてそこに水が流れるのではないかという考え方です。注水実験などで地震が起きたり起きなかつたりという話があって、地震をコントロールしよう、制御しようという話が出始めたころの理論です。通常、圧力をかけていくとどんどん体積は縮んでいくのですが、あるところで体積がちょっと広がってきます。これは要するにマイクロクラックがあちこちで発生するために体積が膨らんでしまうというイ

メージです。それでそういう発生した空隙に水が流れるのではないかというのがあって、それが地震を引き起こす引き金になったりするという話が出だしたころの理論です。

(辰巳) もう一つだけよろしいでしょうか。話を全部ひっくり返してしまうかもしれないのですが、最初のほうに、昔のかたで地下に電荷が集まるとか流れるとかして、地表を電荷が回るとい話がありました。でも、地中のほうが $1000\ \Omega\text{m}$ なので、そちらのほうが流れやすいという話でしたが、それを引っ張ってくると、後でなされた話も全部 $1000\ \Omega\text{m}$ 程度ということで、全部電位差が生じてどうこうと言わず、全部ただ流れてしまえば、流れて何も起こらないのではないかと思って聞いていたのですが、そこはいかがですか。

(井筒) その辺はちょっと分かりません(笑)。地面の中と地表付近ですね。光る場合だと、地表付近では $100\ \Omega\text{m}$ で、電気抵抗はもう少し低くなりますから、電気としては流れやすくなるということになります。ですから、そういう意味では、アーク放電的な放電はなかなか起こりませんが、静電気がたまる可能性があります。そうするとセントエルモの火のようなコロナ放電とかは起きやすくなります。空中放電、雷のような放電を想定しているなら、電位差が大きくなっても抵抗が小さければすぐ電気が流れればだめでしょう。そうではなくて、例えば静電荷がたまるとか、セントエルモの火、コロナ放電のようなものであれば起きるということはありません。

(辰巳) ありがとうございます。

(相澤) それでは3時半まで休憩にしたいと思います。井筒さん、どうもありがとうございました(拍手)。

【後半】

(相澤) 時間になりましたので、後半を始めたいと思います。後半最初は、東京学芸大学の鴨川さんにお話をいただきます。鴨川さんのご専門は地震に関する電磁気現象全般で、バックグラウンドは物理学ということです。物理学的な側面からお話ししていただきたいと思います。よろしくお願いいたします。

「近年の地震における発光現象の観測・目撃例」

鴨川 仁 氏 (東京学芸大)

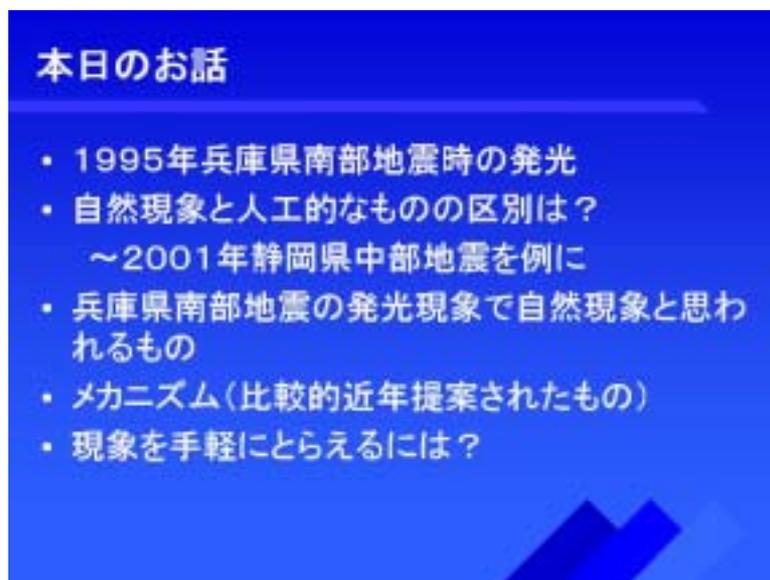


よろしくお願いいたします。本日は、このような立派なワークショップを催していただきましてありがとうございます。お話を頂いたときは小さい会議室で気軽にパワーポイントを使って話すのだろうと思っていたのですが、実はこんなに立派だとは思いませんでした。私は地震発光をメインに研究しているというわけではないため、今回の発表内容が少し貧弱でお恥ずかしいのですが、地震前兆に関係する電磁気現象にも関連があるため、発表させていただければと思います。

先ほど阪口先生も自己紹介をされたので、少しだけ私も自己紹介をします。実は、私も神戸の地震で研究の方向性が決まってしまったようなものです。地震当時は大学4年生で、東京の大学にいたのですが、地震が起きたとき、もうすぐ卒業するという段階でした。地震発生後、私の指導教官が地震時に発光現象があったと聞きつけて、「それ行くぞ」ということで、手分けしてそういった情報を集めました。地震時の発光現象は確かにいろいろなところで見られたようなのですが、それと同時に、地震の前にラジオが聞こえなくなったといったような情報もありました。後者は何か前駆現象ではないかというような話で、今、地震前兆に関連する電磁気現象の研究をするに至っています。所属研究室自体は固体物理理論の研究室なので、私以外の人はみなさん量子力学やら複雑な式をたくさん使って研究をしていました。一方、私はちょっと変わった学生でして、固体物性のゼミも仲間と一緒にやってきましたが、こういった現象を追い続けて12年がたってしまいました。

(以下スライド併用)

概要



鴨川－図表 47

今日は図表 47 で示してあるような順番でお話をしようと思っています。最初に神戸の地震のときの発光です。これについては既に何人かの先生が論文に書いているので、まずどんな報告があるかということをおおざっぱに話します。

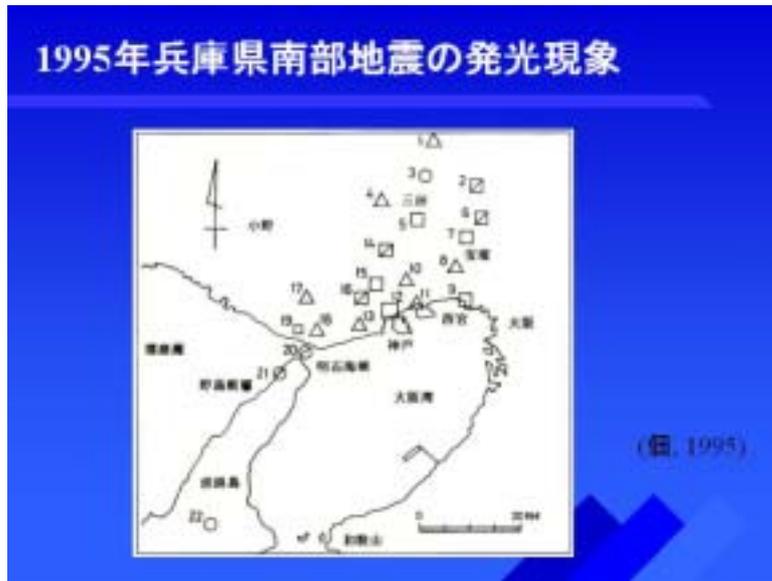
その次に、先ほどから何度か質問でもありましたが、人工的な現象を自然の発光現象と見間違えてしまうというケースがあります。我々も近年面白い発光現象を見つけたと思いましたが、つい先日これが単なる人工的なものだということが分かったので、そのいきさつをお話ししたいと思います。

そして神戸の地震についてもいろいろな調査をしていくと、これは自然現象かなと思うものが一つありました。残念ながら、これが阪口先生の先ほどの話とちょっとかみ合わなそうな部分もあります。このことから、目撃例による観測研究の難しさがあると思います。

そのあとに、メカニズムのお話をしたいと思います。前に井筒先生がレビューをしてくださいましたが、私も二つ、こういった話があるという紹介をさせていただきたいと思います。

最後は、先ほどの質疑にありましたが、こういった現象を今後とらえてみるにはどうすれば良いかについて、私なりに思ったことをお話ししたいと思います。

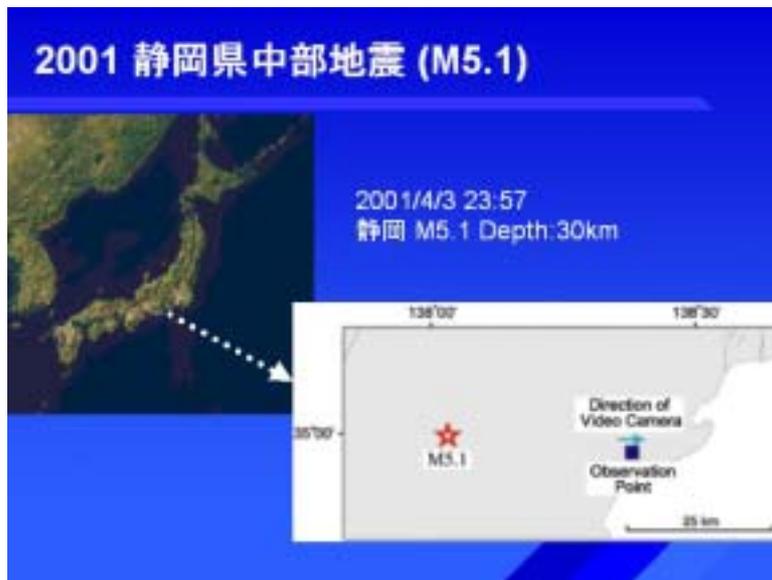
1995年兵庫県南部地震の発光現象



鴨川—図表 48

図表 48 は東大地震研の佃先生が地震後、現地でインタビューを行い、「月刊地球」に書かれた論文の図です。いろいろな発光現象を分類して、記号で示しています。地震が図の中央あたりから始まって右のほう向かって破壊が移っていくわけですが、それにあわせるかのように報告がたくさんありました。そして現象を分類しなければいけないということは、いろいろな種類の発光を人々が見ているということで、これは全部自然現象なのか、それとも一部は何か電線のスパークによるものかよく分かりません。確かに我々の調査でもたくさんの種類の目撃例がありました。

2001年静岡県中部地震



鴨川—図表 49

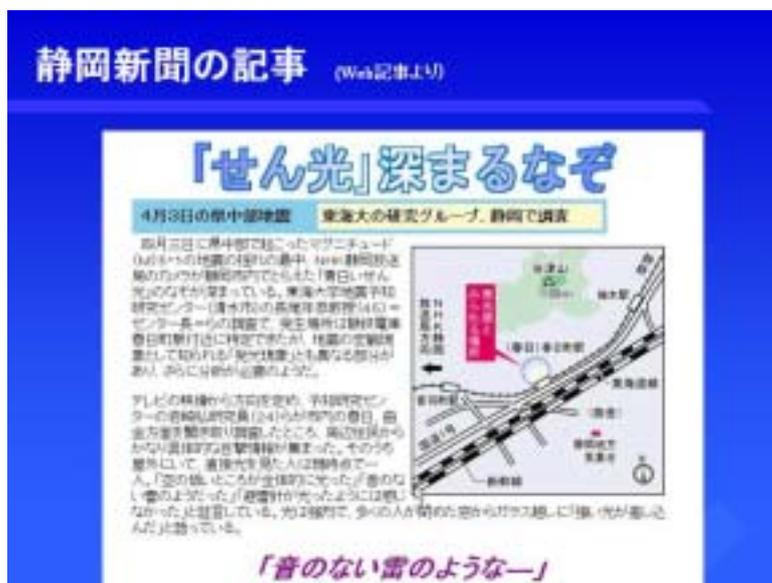
人工的か人工的でないかというのを判断するのは、なかなか難しいです。神戸のように街が完全に壊れてしまうと、後で調査がなかなかできません。そこで興味深い例を、今お見せします。紹介する地震発光らしきものは、巨大地震で生じたものではないので、後に現地調査をすることができ、最終的に自然現象ではなかったというお話です。お手元の資料には間違って2002年と書いてありますが、地震が起きたのは2001年です。2001年に静岡県中部で地震が発生し、静岡市で比較的大きな揺れを観測できた地震です(図表49)。この地域は東海地震が予告されていますが、日常はあまり地震がないのでこれでもかなり揺れたという記憶を住民は持っていました。



鴨川—図表 50

まず、きっかけは何かと言うと、みなさんすでにインターネット等でご覧になったかもしれませんが、当時放送されたNHKのニュースです。動画を見てみると、画面の左中ほど上でぴかっと光ったのが見えます(図表50)。この発光現象はNHKの静岡放送局の屋上のカメラで撮影されました。

そこに座っていらっしゃる上田誠也先生など、私も長く静岡の東海大学のグループとともに地震に関連する電磁気現象を研究しております。そのため仲間何人かが、どのあたりで発光したのか調べてみようということで、発光した場所を探しに行きました。今、こま送りでゆっくりお見せしますが、この辺(画面左中ほど上)で光るわけです。ちょうど1フレーム分、時間で言えば30分の1秒ぐらいで光っている。NHKのテレビカメラマンによれば、この光量はサッカー場・野球場の光と同程度とのことです。2フレーム目ではわずかに見える程度なので、この発光現象は合計30分の2秒ぐらいだったのでしょう。



鴨川一図表 51

このニュース放送はやはり話題になりまして、静岡新聞が東海大に取材に来ました。そして記事となりました。図表 51 は静岡新聞がインターネットで配信しているニュースから引用したものです。発光箇所はどうか静岡駅から少し離れた小さな駅のあたりではないかと、その記事では伝えています。この場所は、過去同じような地震が起きたとき、非常によく揺れた場所だから、何か地質的なものとの関係があるかもしれないぐらいのあいまいなコメントを、東海大の長尾年恭先生が取材で述べました。

目撃者証言



鴨川一図表 52

どのように場所を絞り込んだかお話したいと思います。まず我々の仲間二人が精力的に、地域の学校にアンケートを配ったり、住民にインタビューをしたりして、まず光の到来方向の絞り込みをしました（図表 52）。NHK静岡の放送局は地図の真ん中左です。それからカメラの方向はNHKから右方向に向いていて、画像からある程度の地域まで絞り込めます。次に近隣の住宅一軒一軒にあたってみて、各々における光の到来方向を調べました。最終的に、予想発光箇所は地表面が砂利になっている空き地でした。つまり当時としてはその空き地で何か光ったのではないかと予想しました。しかし、地表面が焦げていたなどの痕跡は見つかりませんでした。

発光場所の特定



鴨川—図表 53

先ほどの発表でもたびたび出ていますが、今、Google Earth という便利なものがあり、この調査でも威力を発揮しました。まず先日、この地震発光ワークショップでこの発光について話すということを仲間達に伝えました。そしたら当時現地調査をした野田さんという方が、突如ひらめいて「発光箇所はここ（静岡美容学校）かもしれない」と Google earth で衛星写真を示したのです。画面中央に美容学校の建物があって、この美容学校にはドーム型の会議室の屋根のようなものがあるのですが、ここが光ったかもしれないと言ったのです（図表 53）。

発光場所を突き止めた

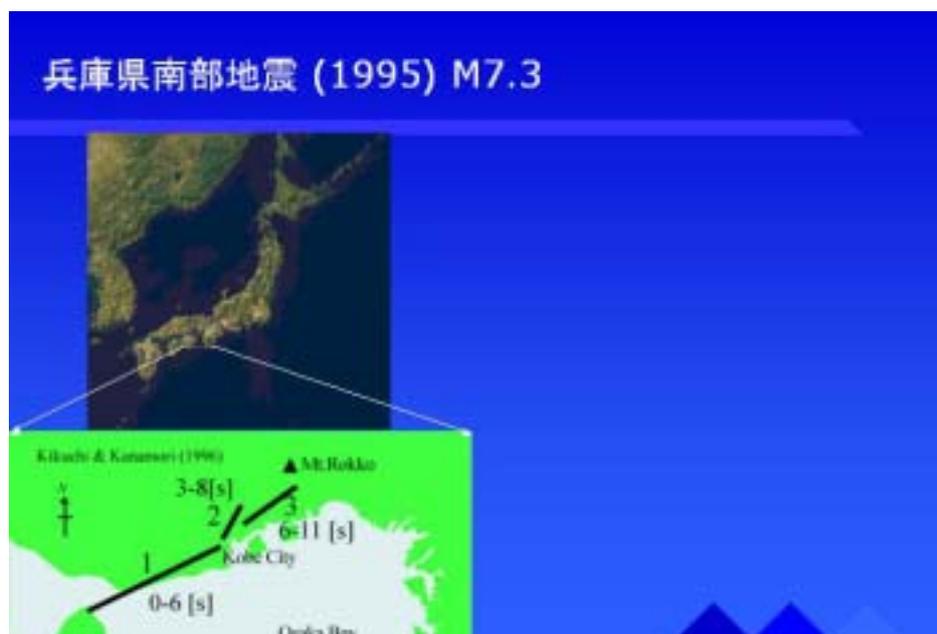


鴨川－図表 54

そこだったらありうると考えて、その美容学校に、実は先週ですが電話で確認しました。どうやらそのころ、ネオン管が壊れたことがあるらしいと。そして長尾先生が現地へ行ってインタビューしてみると、やはり 2001 年のその地震のときに壊れたとのことでした。もちろん地震時のときに壊れたかどうかは確認できません。地震後に確認したところ、壊れていたとのことでした。その壊れたのが、この右側の写真の美容学校の看板部分です（図表 54 右図）。1 本のネオン管だけ壊れたそうです。もちろんは 1 本のネオン管の破壊である光が出るかということはあると思いますが、今のところ、これでほぼ間違いないだろうと思っております。残念ながらやはりこういうケースは多々あります。

なぜ、当初、我々は人工的だとすぐ思わなかったかと言うと、インタビューでは誰もが全く音がしなかったと言ったからです。放電なら多少音がするだろうという期待がありました。もちろん近くに電車が走っていましたが、放電を起こしそうなところは全部当たったのですが、そういう痕跡は全くありませんでした。いずれにしろ、すぐにこれを人工的なものと見破ることができませんでした。そういったケースでありました。

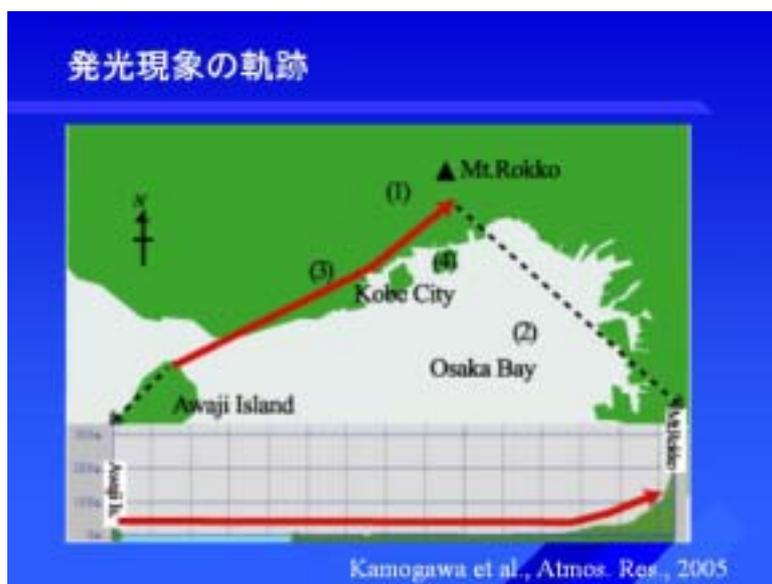
1995 兵庫県南部地震



そこで、早速兵庫県南部地震の話に戻ります。目撃者をインタビューした様子は、その1か月後ぐらいの「スーパータイム」という、当時のフジテレビのニュース番組で放映されたので、ご覧になったかたもいらっしゃるかもしれません。何人かインタビューすると共通する現象が見えてきました。そして我々は佃先生の資料を参考にしつつ、我々が調べたものを重ね合わせました（図表 55）。これが兵庫県南部地震の断層で、菊地先生・金森先生によると、破壊はこの淡路島の先端から最初の6秒がこれくらいで（左下・番号1）、次はこちらが壊れて（同2）、次がこちらで（同3）大体10秒くらいで、六甲山のほうに向かっていくようなものであったとのこと。

これは先ほどの佃先生の資料で（図表 48）、たくさんの種類の日撃例がありますが、発光現象は大体断層付近に集まっています。

発光現象の軌跡



鴨川—図表 56

どうい目撃例があったかというをお話しします（図表 56）。まず、我々はとにかく 1 つ信頼できるものを見つければ第 1 段階では良いだろうと考えておりました。

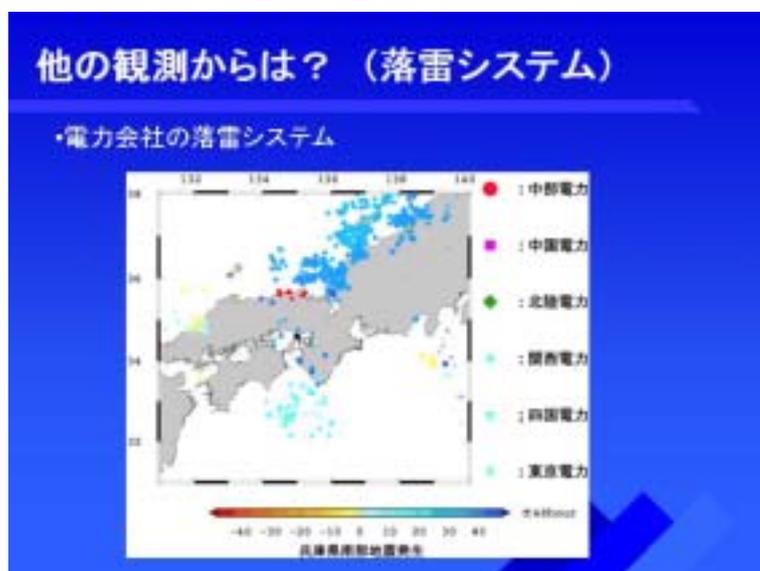
図表 56 の(1)の部分に見晴らしのよいホテルがあって、そのホテルの駐車場の車から男女の若いカップルが海を眺めていたのです。景色がいいからだと思いますが、海を見ていたら、光が淡路島の先端のほうから手前に走ってくるように見えたとのことでした。そのあとか、ほぼ同時ぐらいに、ものすごい揺れを感じたということです。やはり地響きがよく聞こえたという話でした。これを見つけたときは二人で見えていますから、見間違いも少ないだろうと思って、これは有望かもしれないと思いました。であるならば断層に対して反対側を調べようということで、当時大阪湾にいた数人の漁師さん(図表の(2))を漁港でつかまえて、淡路島から六甲山方向に光が走っていたのを見たという目撃証言を得ました。光が六甲山のほうにぶつかったように見えると。かつ、漁師さんたちによると、六甲山にぶつかったら、上から雷みたいなのが落ちてきたという話です。そのあとにすごく船が揺れたのを感じたといっていました。

先ほどの断層の断面（図表 56）では海の部分は割と少なく、ほとんどが平野部で、後は六甲山になります。これをみながらこの話を大体まとめると、海上・地表面を這うように進んで、六甲山にぶつかり、上から雷が落ちているように見えたとのことでした。この人たちのコメントによれば、現象は秒スケールで起こったのではないかということです。もちろん、秒数は人間の感覚だから正しいかはよく分かりません。つまり、先ほど阪口先生

がおっしゃったように、単に人が長く感じているだけかもしれません。ただ言えるのは一瞬でぴゅっと消えてしまうのではなく、ある程度長さを持って光っているように見えたとのことでした。

さらに佃先生によると、小高い山で早朝ハイキングをして、山に登っている人がいて(図表 56 の(3))、ちょうど東の方向に光りが見えたとのことでした。このポートアイランドという人工島にいた人達も(図表 56 の(4))西の方向に対してほとんど揺れと同時に光を見たというレポートがあり、これらを総合すると、やはり発光現象は淡路島先端から六甲山へ向かったようです。そして結果として破壊が進んでいった線と、発光が進んでいった線は向きも含めてよく合いました。

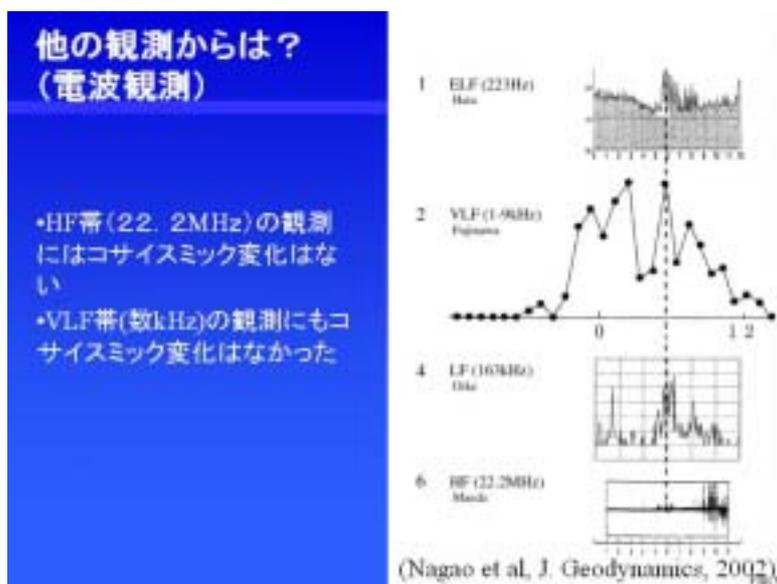
他の観測からは？ (落雷システム)



鴨川一図表 57

我々もできるだけベストを尽くすということで、まず雷のようなものが上から打ったという証拠がないかと探してみました。当時このあたりの落雷の位置評定システムを電力会社だけが持っていました。地震前後 48 時間前の落雷位置をプロットしたのが図表 57 です。震央そばにちょうどよさそうな落雷がありますが、これは地震発生からある程度時間がたったものです。このプロットから分かるように目撃例にあたるものはありませんでした。もちろんこういったものは非常に測定閾値が高く、ある程度落雷電流がないとカウントされません。あと、落雷の位置も必ずしも正確ではないので、このようなデータはあまり使えないかもしれませんが、ただ、六甲山での雷らしきものはこのデータからは見られなかったということです。

他の観測からは？（電波観測）



鴨川—図表 58

もう一つ、次のような観測がありました（図表 58）。この図を地震の前駆的電磁気現象の発表を聞かれた方は見たことがあるかもしれません。日本で大気中電磁波の測定をしている先生方のいくつかのデータを突き合わせてみて、神戸の地震に前兆的なものがあるかどうかを調べたという論文の図で、長尾先生がまとめたものです。私はコサイスマックについて注目して、観測をしていらっしゃる先生方に長尾先生を通して聞いてみました。図表 58 一番下のグラフは HF 帯 22.2MHz の周波数で木星からの電波を測定している兵庫医科大学の前田先生のデータです。この観測ではコサイスマックの変化はみられなかったとのことです。

もう一つ、京都大学の尾池和夫先生のご自宅で、運が良いともいえる観測がなされました。尾池先生は地震発生直前の深夜 2 時ぐらいに偶然ふと起きて、今日何かあるかもしれないと思い、VLF 帯電波を波形データまで含め観測し始めたのです。通常 VLF 帯の波形データまでとると記録が大変で長時間測定は難しいわけですが、幸運なことにこのときは地震時までの記録が取れました。そのときにプレサイスマックな変化があるかということ、当時尾池先生の研究室の学生だった井筒先生が博士論文の執筆のときに丹念に調べたのですが、少なくともコサイスマックはないとのことでした。私は井筒先生に何回もしつつく電話して「ないか、ないか」と聞いたのですが、何度調べてもやはり見られなかったとのことでした。普通は落雷があったとき発生した VLF 帯電波は比較的遠くでも観測できるのですが、これは京都の宇治で測っているのに、VLF 帯電波は観測できなかったとの

ことでした。ゆえに、落雷・電波観測データからは検証できませんでした。

こういった発光現象は他の大地震でもあるのでしょうか？神戸の地震後になります。1999年に台湾で大地震がありました。台湾の大地震で、発光現象がないかということで、私も現地を一生懸命回っているいろいろな人に話を聞きました。今日は紹介しませんが、多くの方が発光現象を目撃していました。しかしなぜ発表しないかということにつながるのですが、目撃例同士の話がなかなかつながらないのです。人によっては、空が明るくなったとか、人によっては地中から火柱のようなものが噴いたということでした。いくつかは局所的なものと考えられ、神戸でもありましたので、実際あると思います。しかし我々が神戸の地震で調べたようなものの観点からは、目撃者が見たもの同士が同期しておらず、調査をうまくまとめられませんでした。

もう一つ、中越地震についてもぴかぴかという閃光のようなものが見たという報告が多々ありました。これもうまくまとまらなかったのですが、実際そういったものが、大きな地震があると何かしら出てくる。しかし、なかなか人工との識別も難しかったりして、自然現象と特定するのが難しいのが現実です。

発光現象のメカニズム（最近の提案）

発光現象のメカニズムで比較的最近提案されたものを二つご紹介します。なぜ比較的最近かということ、井筒先生が言うように、発光現象の研究の歴史は意外と長いのです。しかし研究者がよってたかってこの研究をすることはないので、進度はゆっくりです。ですから、最近と言っても20年ぐらい前だったりします。

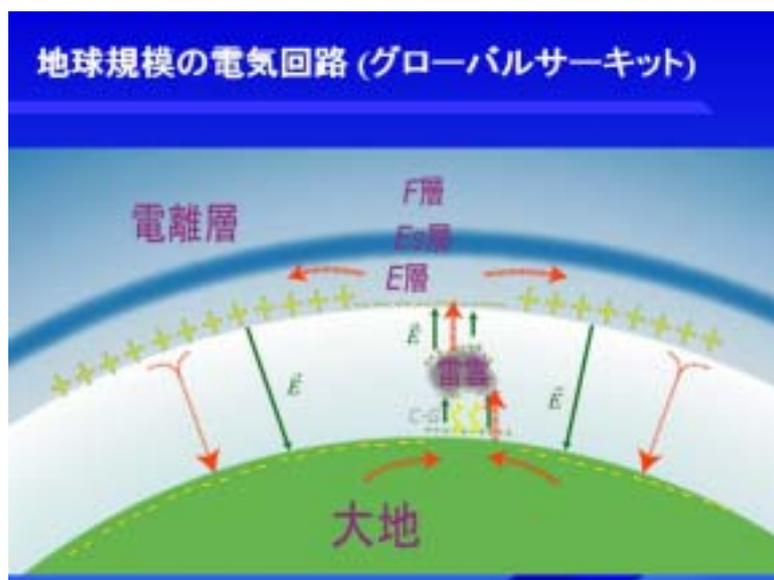
このメカニズム紹介のためにいくつかバックグラウンドをお話しします。まず、大気発光の物理についてです。



鴨川一図表 59

大気中で発光する条件は厳しく、なんとか発光に至った代表的な例は落雷です。参考までに、図表 59 は貴重な写真で中央防雷という防雷会社が北陸で撮った冬季雷です。発光するためには、空気分子を電離や励起する必要があります。その励起のためには、エネルギーを持った電子が衝突しなければいけないのですが、電子が加速するためには相当の電場がなければいけません。ゆえにこれほどの大きな電場が自然界に存在することは雷雲をのぞきほとんど見られないので、落雷以外で大気発光現象を目撃することはなかなかありません。

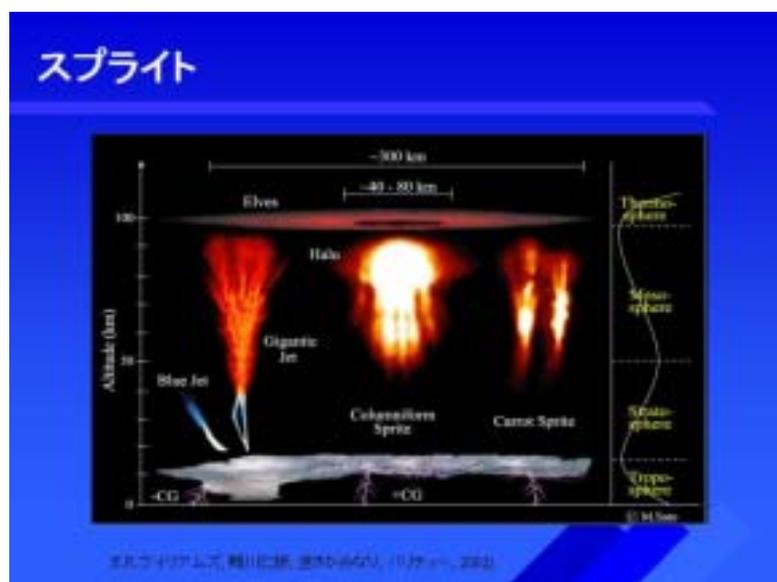
地球規模の電気回路 (グローバルサーキット)



鴨川一図表 60

次にお話したいのはグローバルサーキットとって、地球規模の大きな電気回路のお話です。図表 60 は模式図で高度方向については適当に書いてあります。落雷というのは、雲の下部と地上との間に起こる放電現象です。反対に、この超高層と呼ばれる電離圏と雷雲の間にも雷と同じ形状ではありませんが、放電現象があります。これらは 1990 年代に研究者によって指摘された新しいお話です。超高層は空気が薄いことから雷雲が作った電場によって電子が十分加速されます。結果として大きな運動エネルギーを持った電子は分子に衝突し窒素や酸素分子などを励起します。その脱励起の過程で青色の光や赤色が得られます。落雷による電流、超高層への放電電流、晴天時の大気中微小電流などによってグローバルサーキットが形作られています。

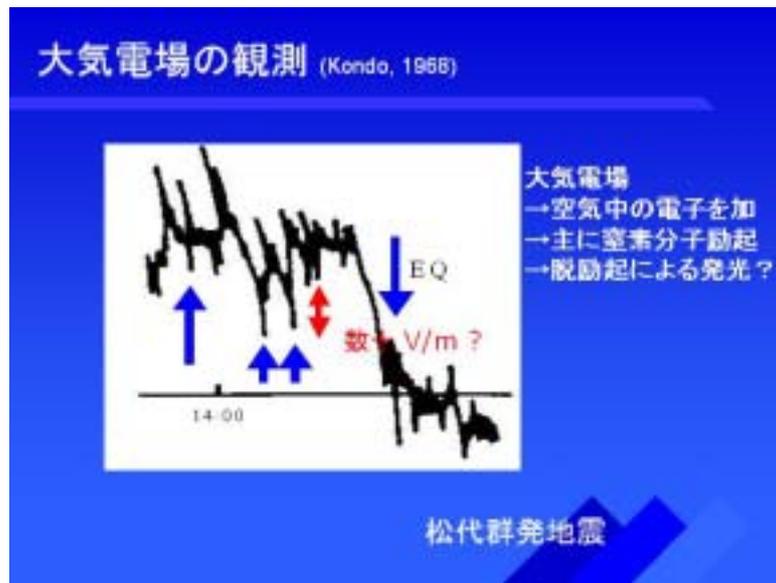
スプライト



鴨川一図表 61

図表 61 は超高層での放電現象を示しています。縦軸は高度を表していて、雷雲は低い位置にあります。スプライトは 70~80km のところで発光する現象です。この現象のメカニズムは今も研究段階ですが、基本的には、先程お話ししたように雷雲が作った電場によって、電子が加速されて、窒素や酸素の分子が励起され、脱励起するような過程で発光します。

大気電場の観測

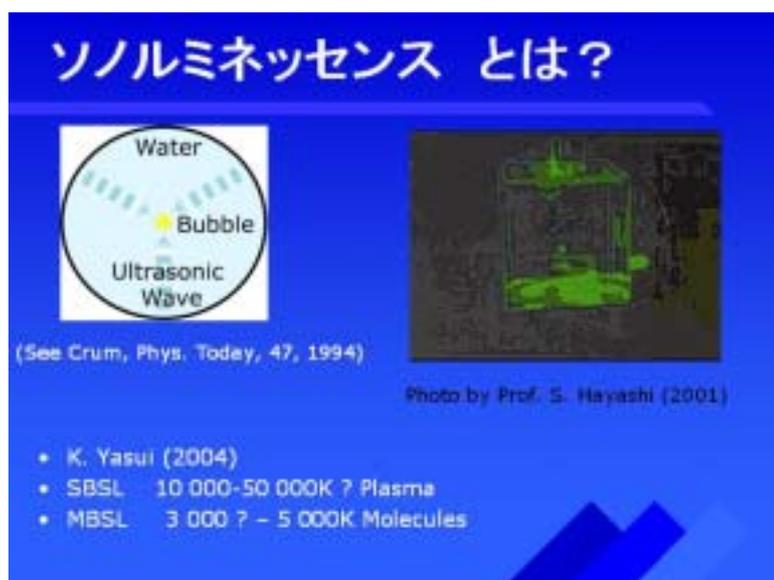


鴨川—図表 62

地震発光について戻って話すと、発光のためには、地表面に大きな大気電場があると期待されます。そこで何度か話題に出た松代群発地震で、地磁気観測所の近藤先生という方が測ってみました。もともと地磁気観測所は、長い間にわたって定常的に大気電場を測っています。図表 62 をご覧になるとわかりますが、地震と同時に数十 V/m だと思いますがインパルス的に減少しています。これからわかるように大きな電場ができて、空気中の電子を加速し、窒素分子を励起・脱励起するようなことは見られていないようです。もちろん観測地点から震央までの距離がある程度あることに注意しなければいけません。

ソノルミネッセンス

今度はソノルミネッセンスという全く違う発想です。先ほど井筒先生のお話にもちらっと出てきましたが、こういった考えを言った人がいます。ジョンソン (Johnston) という地震学者で 91 年に「Nature」でこの仮説を発表いたしました。



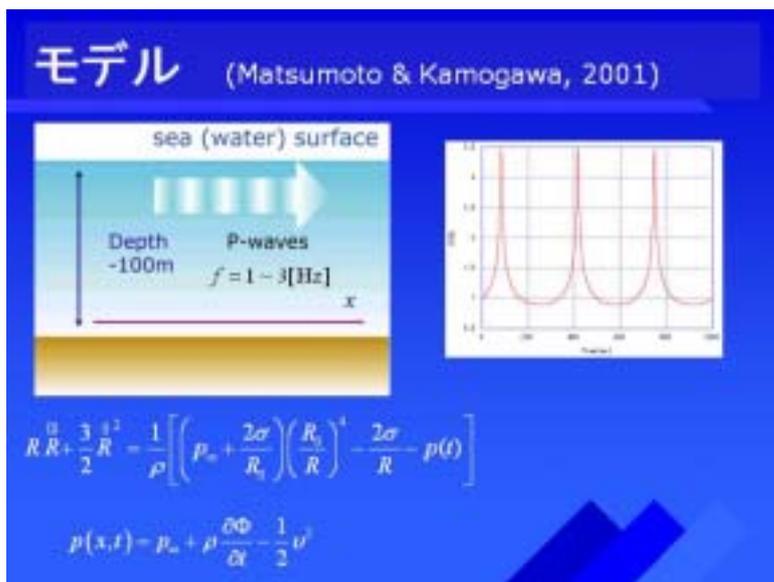
鴨川一図表 63

ソノルミネッセンスとは液体に超音波をかけることによってみられる発光現象です（図表 63）。超音波を液体中に定常的に与えて、その液体に含まれる気泡が超音波の周期的な圧力変動のなかで気泡内圧力が最小になる直前に光ります。その光は非常に明瞭です。現在も盛んに研究されていますが、発光機構はまだ解明されていません。理想的な環境で作った 1 個だけの気泡で発光した現象をシングルバブル・ソノルミネッセンスと言いますが、あるモデルによると気泡内はだいたい 1 万～5 万度ぐらいになっているのではないかとされておりこの場合はプラズマ発光が起こっていると考えられています。もっと別なモデルだと、気泡内に衝撃波が起こって局所的に 100 万度近くになるのではないかとっている人もいます。複数の気泡での発光をマルチバブル・ソノルミネッセンスと言いますが、この場合はもう少し気泡内の温度は低くなり、これもモデルによりますが 3000 ケルビンまたは 5000～1 万ぐらいと予想され、プラズマか分子の発光が関与しているのではないかと考えられています。図表 63 の右の写真は電通大の林先生にお借りした写真です。この写真の中央部の小さな点がシングルバブル・ソノルミネッセンスです。



鴨川—図表 64

これらの実験はさまざまな液体で試されており、図表 64 は非常にきれいな絵ですが、別の液体で違うガスを注入するとこのような非常にきれいな発光現象が見られます。



鴨川—図表 65

随分昔ですが、研究室の大学院生とでソノルミネッセンスモデルを検証してみようということになりました。先程の実験室での超音波のかわりにここでは水中における地震波を用います。まず我々はソノルミネッセンスのあるモデルを極めて簡単化したモデル用いました。Nolting-Neppiras という式と、ベルヌーイの定理を使います。音波は縦波のP波を用いて、地震時にソノルミネッセンスができるかどうかを調べてみました。図表 65 右のように地震波とともに水中の気泡の半径が周期的に大きくなったり小さくなったりしますが、

計算結果では残念ながら発光温度がまったく得られないということが分かりました。もしかしたらモデルが悪いのかもしれませんが、ジョンソンが予想するようなことは起こりません。ちなみにソノルミネッセンス実験は超音波を使うのが主流ですが、可聴音でもソノルミネッセンスを作ることができます。

電磁波の局在



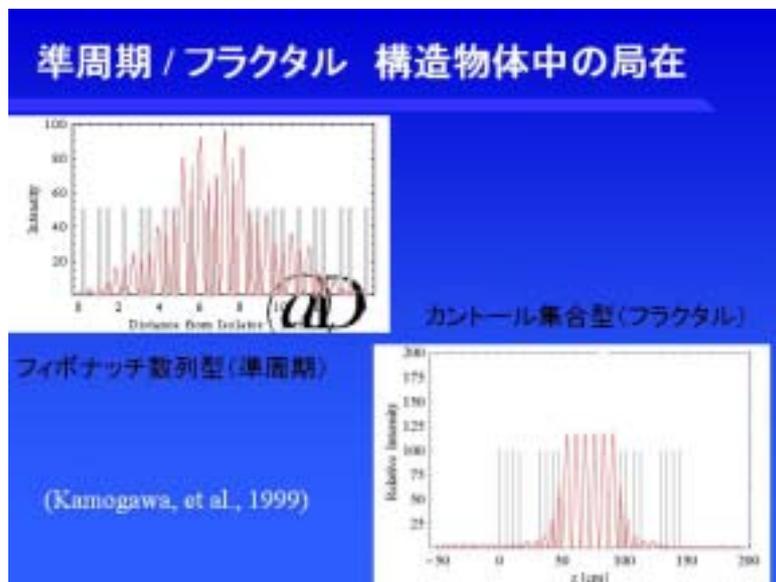
鴨川—図表 66

もう一つ、電磁波の局在によって大気が発光するかということについてお話ししたいと思います。ネタのおおもとは次のようなお話です。岐阜大の田中先生が、電磁波を反射させるようなラフネスを持った擬一次元系に電磁波を入射させた時、系における電磁波がどのように振る舞うかを数値計算にて調べました（図表 66 左図）。結果によれば入射電磁波は系の中で多重散乱を起こします。多重散乱を起こすと、ある条件下で、局所的に強度が非常に大きくなる箇所が現れます。それは入射強度の 50 倍とか 100 倍などといったスケールで大きくなります。もともと電子の波でそのような局在があることは、アンダーソンが見いだしています。電子と電磁波はともに波ですから、一部同じような扱いができます。そこで田中先生は、もし多重散乱による局所的強度増大が得られ、その強度がプラズマ化するような強度であれば発光が起こるのではと考えました。

この計算は古今東西言われ続けている球雷または球電の説明のためになされたものでした。図表 66 右上の写真は球電ではないかといわれている黒姫で撮られた写真です。図表 66 右下は実験室内においてマイクロウェーブをキャビティと呼ばれる空洞共振器の中に閉じ込め、プラズマを作り球電の再現をめざした時の写真です。これも電磁波が空洞共振

器内で多重散乱した結果です。今でもこのたぐいの研究はイスラエルのグループだったか、「フィジカル・レビュー・レター」とかにこういった研究内容を発表していますが、こういうものは非常に不思議と言えば不思議です。

準周期/フラクタル 構造物体中の局在



鴨川一図表 67 (要図差し替え)

次は、1次元において準周期またはフラクタル配列の散乱帯を持った系だと電磁波は非常によく局在するというお話です(図表67)。これは私がある時、熱心にやりました。準周期の性質を持つフィボナッチ型やフラクタルの性質を持つカントール集合型の散乱帯を持つ系に電磁波を入射させると、入射強度の何百倍というスケールで、局在が得られます。ですから、フラクタル構造をしているような自然の系では、電磁波は局在しやすいかもしれないというところまで迫りました。

そして岐阜大の田中先生は、自然の大気がある空間により近い形、つまり三次元の系において電磁波の局在計算を行いました。大気中は、大気圧や湿度などの空間変化があり、そのことから誘電率にも空間的变化があります。このような誘電率の空間的变化がフラクタル構造的に配置していれば、三次元でも電磁波が局在するのではないかと言うことで、数値計算を行ったわけです。しかし、田中先生によれば大胆にパラメーターも変化させたけれども、せいぜい入射強度の十数倍程度までしか局在しなかったとのこと。もしこれで大気中プラズマを生じさせるのであれば、入射電磁波がかなり大きくないといけません。先ほどの阪神大震災における電波観測結果だと、そのようなコサイスマック時の変化は見られなかったわけです。もちろんそれぞれの観測地点は震央から離れていますが、仮

に電磁波が震央から出ていたとしても、それほど強い強度ではないはずですが、このアイデアによる現象の説明は難しいかなと思っております。

今後の観測のために

先ほどオールスカイカメラの話が出ましたが、同じようなことを私も前から思っていました。また別な話になりますが、あるアマチュアの方だと思いますが、スプライトをパソコンで観測できるようなソフトを一生懸命こしらえました（図表 68）。いまやたくさんの人がこれを使ってスプライトとか、流星とかを測っているようです。この方が撮られたスプライトを見ると、光っているのがはっきり分かります。このような感じでいま簡単にスプライトが撮れるわけです。さらに博物館とかアマチュアの人が協力してスプライトの発生箇所を決定したり、流星の到来方向を多点観測を利用して調べているようです。ならば、副次的に、今後地震発光現象もこれでとらえられるのではないかと思います。もちろん電磁波の定常観測なども一般の科学者がやっているようなものは当然やっていくとして、実際に発光をとらえるという観点では、こういうもので手軽に代用できるのではないかと思います。以上でお話を終わります（拍手）。

質疑応答

（安藤） 先ほどの神戸の観察例ですが、ほとんどは地震時の話と言われましたね。揺れる前からということはなさそうということですか。

（鴨川） そうですね。だれもが光を見てから揺れを感じているのです。もちろんそのタイムラグがはっきりしないのですが、光を見てから揺れを感じているという順番だけはあっているようなので、地震時だろうということですが。ただし、私たちはそのころはプレサイスミックに興味がいく前だったので、我々のフィルターがかかってコサイスミックと判断してしまっているかもしれません。

（安藤） 今の鴨川さんの話ですと、光を見てから 10 秒以内に揺れを感じている。そういう可能性がありますよね。先ほどの阪口さんのお話ではそうであったかもしれないし、そうでなかったかもしれないので、何とも言えないということですか。

（阪口） 揺れの前だったことは間違いない。最初、光だけが来て、これから何が起こるのという会話を。それで、分からないということをやっていたことを覚えているので、会話をしていたら“どどこ”という音が来たというのは間違いない。

（鴨川） では、順番的には同じになるということですね。佃先生によると、割と断層に近いような位置にいた人も見ていました。すぐそばであれば、その人たちには割と幅広い

発光に映っていると思われるのです。要するに全部の空が明るくなったように見えた可能性はある。少なくとも遠くにいる人にとっては、何か光が動いているように見えていたようなので、これらが全部同じかどうかもちろん分からないのですが、順番に解きほぐすとそんな感じには見えていたようです。

(河野) どなたかがご指摘なさったように地震のオリジンタイムに光も地震波も出て、その場の揺れは後で感じたという解釈で、コンシステントのようですね。

(鴨川) そうですね。地震波のインバージョンによる計算だと10秒ぐらいで割れていっています。ちょうど発光現象もその時間スケールで動いていっています。

(河野) 発光が動いていくのもやはりオリジンタイムから動いていくわけですか。

(鴨川) 今のところ精一杯できる解釈はそこまでです。

(河野) 私が感じているのは、今の阪口さんのお話と私が写真を撮った人の話とを合わせると、秒のオーダーとか1分以内のオーダーではなく、やはり5分前後は少なくとも前、さらに阪口さんのお話では閃光的なものが先にあって、それからだんだん色が変わっていった、揺れ始めたときにもまだ発光状態は残っていて、揺れ終わったときにはまた真っ暗になったという形になっており、今割れ目に沿ってずっと光が走っていったという現象は初期段階ではないかと思えますので、分のオーダーで前に起こっているほうが、時間的にかなり望ましい。ですから、見られた感想を言われたのは、フィルターがかかっているかもしれないという話も含めて、どのくらい前かというのは、前であることはたしかだけれども、秒のオーダーの前なのか分のオーダーの前なのかというのはどうも目撃者証言が明確でないように感じるのですが。

そういう意味で、閃光を伴うような鋭い光のようなものがもし走ったとすれば、印象が目について非常に強いですから、それは記憶に残っていて、それより前から明るいぼーとした光があったことは忘れ去っているのではないかと思います。それと同時に、また地震が起こった直前まで光っていたというのは閃光が光っていたのか、明るい状態が続いていたのか、その辺も今の話ではあまり正確ではないような目撃情報だと感じるのですが。

(鴨川) そうですね、「地震前にはありましたか」など、こちらはあらゆることを質問しなかったのです。先程も述べましたが、地震前にはあまり注目していませんでした。当時プレスミスミックがどうかということについてまったく知識がなかったのです。ですから、最初がいい情報だと思ったのは、発光物体が動いていた。地震時の動く発光物体に焦点をあてたのは我々が大気中の発光物体（球電）を研究していたことに関係しています。ご指

摘の通り目撃者が忘れ去ってしまったのかもしれないし、こちらが落としてしまったかもしれない。いまそこまでは我々も記録が残っていないのです。ご指摘のようなことは十分あると思います。

(古本) 静岡の例などを考えたときに、例えば破壊面は秒速 3 km ぐらいで明石海峡のほうから東に進むわけですね。それを横から見ていたら、前面のところは破壊が進んでくるわけですね。例えばネオンサインが秒速 3 km で破壊されるのが進んでいったとすれば、スパーク状態がずっと続くように見える。そうではないと言えるのかどうかということなのですが。

静岡のことを念頭に置いて、断層が破壊するというのを考えると、例えば神戸のような大都会であれば、比較的連続的に破壊が。そういうことがないと言えるかどうか。

(鴨川) そうではないだろうと思っている根拠は 2 つしかなく、漁師の人たちによれば、発光は少し高いところにあった。もう 1 つは、彼らがこの発光は海の上を通っていたというものです。それで、最初は静岡で起きたような人工的な現象がだんだん動いていけば、当然そうやって見えるだろう、ということも疑いました。今根拠にしているのは、海の上にも発光があったということと、発光は少し高いところに見られたということです。以上よりそのように判断しました。

(河野) 物理的な観点からという話で、お願いがあるのですが、今、井筒先生が言われたように物理的な原因としても、いろいろなことが考えられます。光に限らず、電磁波も含めての話です。当然、前兆現象として、そういうものがあってくれないと予知に結びつかないので、あるかどうかを確証する。これは観測をちゃんとしなければいけないということなのですが、それと同時に理論づけとして、いろいろなことが考えられる中で、いろいろな物理的な結びつき、界面、結晶の中、原子どうし、あるいは分子、そして物体になってからでも境界面、そういうところには必ずエネルギーが介在しております。そういうのをもう少し計算していただいて、どういう界面にはどういうエネルギーが介在すると。それは電磁波に直せば、その電磁波の周波数に相当するものはなにかと。それがどういう出方をするかというように考えた理論的な考察が必要だと私は思っておりますが、その辺に興味はお持ちではないでしょうか。

(鴨川) 興味はありますが、理論的考察をすべきところまでにはまだかなり道のりがあると思います。なぜなら観測がまだ不十分だと思っているからです。個人的意見では、いまのところ理論よりは、まず観測を十分にやってみる価値があると思っています。そして

先ほどからお話が出ていますが、おそらくコサイスマック研究のいいところは、割と地震との関連がつけやすい。一方、前兆発光について言えば、例えば1日前に光ったからといって「これは地震がある」と関連づけるのはなかなか難しいですね。後で上田先生のコメントにもあると思いますが、コサイスマック時の地震発光現象を一つずつ調べるとするのは、プレサイスマックの電磁気現象を調べたいときの研究の積み重ねの意味で役に立つだろうと思っております。

(辰巳) まず天文台に勤めていた経験とか、天文の趣味のほうから幾つかコメントをさせていただきます。それと質問が一つだけあります。コメントは三つありまして、まず、いちばん最後の画面でUFOキャプチャーの写真を出されていましたが、天文屋のほうでは、UFOキャプチャーというソフトはそもそもずっと空を写していて、流れ星など動いたものをとらえる画像処理ソフトであって、今お話に出ているばつと一瞬光るものならいいのですが、じわーっと光るようなものだとちょっとUFOキャプチャーではとらえられないかなと思いました。その辺も踏まえて、天文台とかと連携される場合はそういうことを説明していただいたほうがいいかと思えます。

それから、分のオーダーか秒のオーダーかという議論がありましたが、これは天文のほうでもよく問題になるのです。というのは、やはり隕石が落ちたような流星がどぼーっと飛ぶことがあるのです。そうすると、例えば濃尾平野などですとたくさん目撃者がいる。そうしたときに、やはりみんな興奮して報告されるのです。例えば横断歩道を渡っている間にずっと流れていたと。いつも歩いている道だから3分間ぐらい流れていたとおっしゃるのです。実際にその人をお呼びして、係の者がストップウォッチを持ってその横断歩道を指差してもらって歩いてもらうのです。するとわずか30秒もなかった、10秒ほどだったという報告がけっこうあります。それから方角も、その人がこちらは南だと思い込んでいたら実は東だった。いろいろありますので、何を言いたいかといいますと、具体的に当事者に、最近のニュースとかにあるような再現ドラマのようなことをやってもらえれば、割と正確に出るのではないかと思いました。

もう一つ、電磁波から光のことがけっこう議論に出ておりますが、実は流星のほうで、私も経験があるのですが、流れ星が飛んで、最後、末端で爆発することがあるのですが、その音が聞こえることがあります。ところが流れ星というのは、地上から大体100kmぐらい高いところを飛んでいます。それが一瞬でぼんといった瞬間に音が聞こえるというのはおかしいですね。と言いますのも、花火の音などですと、遠くで光ってから何秒かして

からぼんと音が聞こえる。その理屈でいけば、ぼんと光ってから、前に計算したところだと5分ぐらいしてから音が聞こえるはずなのですが、同時に聞こえる。ということは、光ったときに一緒に出た電磁波か何かが、脳の中のどこかを刺激して、音がしたと感じているのではないかとされているのですが、これは流星の世界ではよく分かっておりませんし、だれもよく分かっていません。ただ、音を聞いたと言う人はたくさんいます。私も一人で聞いたのではなく、複数の人間で観測していて聞きました。

流れ星とか天文の話はこれぐらいにして、今度は質問ですが、電磁波の観測を、例えば尾池先生とかが偶然やっていたらということですが、気になったのは、電磁波の出るところが多分阪神地域だと仮定して、いわゆる三次元放射、要は幾何学減衰のようなことは考慮に入れていらっしゃいますか。

(鴨川) そこまではやっていません。

(相澤) 鴨川さん、どうもありがとうございました (拍手)。

(石川) また先ほどの問題になりますが、お手元にお配りした資料は、現在の独立行政法人防災科学技術研究所の前身だった機関の防災科学技術センターが出版している資料集で、松代地震センター設立20周年記念のものです。ですから、そちらのほうに著作権があるものです。その資料の最後のほうの下から2行目か3行目ぐらいに書いてあるように、栗林さんは3年間で大体四千何百回は、外に出ているのです。つまり、写真を写しに行っただけです。それだけ写真を写す機会があったけれども、実際に写真を写せたのは13回ということでした。

(相澤) 続きまして、京都大学の加藤さんのお話をいただきます。加藤さんのご専門は地震学で、現在は岩石破壊の発光の実験等もなさっています。それではよろしくお願ひします。

「岩石の破壊に伴う発光の観察」

加藤 護 氏 (京都大)



よろしくお願ひします。安藤先生には十数年前の学生のときから非常にお世話になりまして、修士論文に合格と仰っていただいたメンバーの一人です。そのころはなかなか僕の研究を面白いと仰ってくださらなかったのですが、こういう機会に安藤先生に話

を聞いていただけるのは非常にありがたく思っております。

最初に阪口さんがお話しされたので、僕も12年前の話をします。12年前、僕は日本におらず、たまたまその日、妹がそこへ遊びに来ていて映画を見に行きました。帰ってきてテレビのニュースを見えたら、ぱっと日本語の「神戸市内」という文字が見えて、高速道路が倒れている絵が見えて、右上にNHKという字が見えて、これはすごいことがおきていると思ってすぐ家に電話をかけました。実家は京都ですが、京都へ電話をかけると、茶碗が揺れて割れた、どうも神戸は大変らしいというので、とりあえず安否は確認できました。ものすごく不遜な言い方をしますと、そのときはまさしく対岸の火事だったわけですが、その後京都で仕事をするようになって、「僕は震度7のところに住んでいました」、「前の家がつぶれました」という学生をたくさん見るようになり、本当の意味での地震の研究もしてみたいなと思いました。

この研究は、そのように何となく思っていたところにきっかけがあって始まった研究です。研究自体は加藤、三井、柳谷という三人の共同研究で、三井君というのは私のところで卒業論文を書いた学生です。本来は彼の仕事なのですが、今日のご指名ですので、加藤がご紹介させていただきます。

何度も出ていますが、私が見せているこの写真は「Nature」から持ってきた写真ですので、松代地震センターのもの（井筒図表37）ではありません（笑）。このとき写真が撮られたことを皆さん強調されていますが、もう一つ大事なのは、地震学者がものすごくこの地域に行っておられるのです。プロの人が見た、なおかつ写真があるということで、この写真、あるいはこの地震は非常に大事だろうと思います。今日もいろいろ出ましたが、このような地震発光を最終的には解決したいと思っているわけです。

（以下スライド併用）

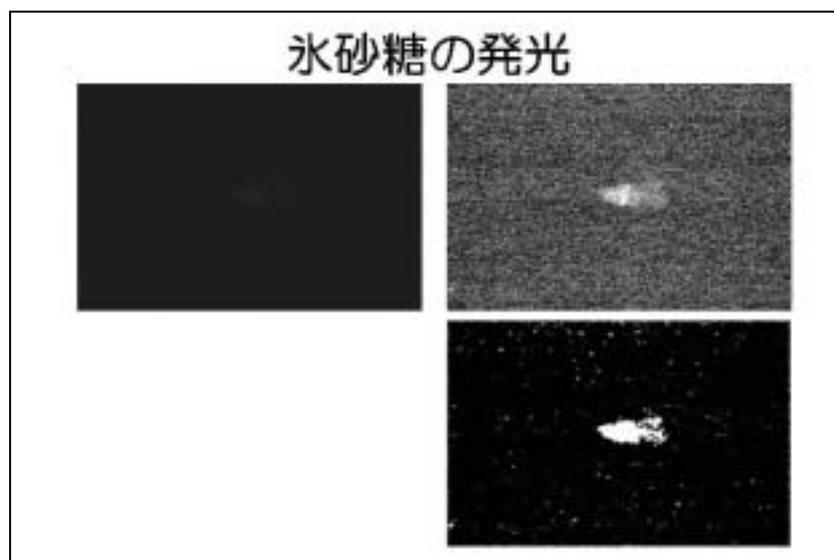
研究の目的

地震発光とはどういう現象かということを知りたい。われわれはそのアプローチとして岩石破壊実験を行いました。前段の、地震発光とはどういう現象かということについては、すでにたくさんの紹介がありますので、今日は割愛させていただいて、われわれが岩石破壊実験でしていること、分かったこと、分からないことについて今日ご紹介させていただきます。

したいというだけなら、もう一人岩石学の先生がいるのでそこでよかったです、光が出る時点でなぜか地震学になってしまい、僕が担当することになりました。そこで慌てて勉強すると、なるほど、地震のときに発光する。岩石も壊すと光が出るらしい。では、これを少しやってみようというのがそもそもの始まりです。最初は学生実験から始まっているので、非常にちやちな実験から始まっています。

氷砂糖の発光現象

(図表2) 壊すと光るといのは、実は何も珍しいことではなく、先ほど井筒さんが紹介されましたが、非常に有名なものは、氷砂糖が光ります。これは子供向けの科学の本の中にも書いてあります。われわれが最初にやったときに、氷砂糖を1回壊してみると確かに光ったので、まずこれを写真に撮ろうというところから始めました。なぜ写真に撮らなければいけないのかというのは、先ほどから何回も出ておりますが、人の目には見えるのです。でも、何色に見えたのかとなるとみんな違うのです。どれだけ光っているかという長さ、そして場所も分からないのです。ですから、なるべく客観的に撮ろうとしました。実験で何回も同じものを撮っていれば、情報量がたまっていくので、写真に撮ることは非常に大事であると考えました。



加藤—図表2

実際に最初はビデオカメラで撮りました。この図では発光は見えないと思います。これは、われわれが当時持っていたいちばん高いビデオカメラで撮りました。肉眼でははっきり見えますが、そのビデオカメラだとこうなります

しかたがないので、ソフトウェアを使って画像を少し加工しました。使ったのは、最近大

阪大学で捏造に使ったのと同じソフトウェアですが、濃淡だけを考えて、なるべく光ったところが目立つようになっています。

これでもまだ納得しない人がいるので、白黒2色にしました。そうすると、ここに氷砂糖の形があって、光ったことが分かります。普通にビデオカメラで氷砂糖を壊すところを撮ると、これぐらいしか光らないのです。ピントがずれるともうダメなのです。ですから、こういう実験でも最初、写真を撮るのが非常に難しいというのが学生の感想で、それは教育的にはなかなかよかったですのですが、実験はつまらない。それではとって、カラーにしましょうということになり、今度はデジタルカメラにして、少しいいのを買って、写真を撮りましょうと進みました。

ガムテープの発光



加藤一図表 3

(図表 3) 先ほど井筒さんが紹介された、もう一つのすぐ光るもの、ガムテープを光らせました。ガムテープはすごく光るのです。カメラがよくなったのもあるし、ガムテープがいいのもあるかもしれませんが、こういう光が撮れます。これで普通の子供向けの理科の本に書いてある、ガムテープも光る、氷砂糖も光るといっているので、光るものは2個やってしまったので、さあ、どうしようかなと思って、しかたがないから、「じゃあ、次に石を割ってみるか」となりました。

とりあえず1回まとめてみます。氷砂糖の破壊を写真に撮るといってこれだけの実験で、十分暗くなければいけない、要するに、暗いところで撮らないと大変である。カメラが良いとよく撮れる。学生実験をやっているほうから言うと、すごくつらい結論ですが、カメラが良

いとよく撮れる。やはりビデオよりもスチールのカメラのほうが良いことが分かりました。

皆さんにも試みていただきたいのですが、この破壊発光はだれでもできます。大きめの氷砂糖を用意します。われわれはたまたま時期がよかったのですが、梅酒を作る時期に大きめの氷砂糖が出回りますので、これは非常によろしい。

もう一つは、暗い環境で、例えば冬ですとコタツの中にもぐりこんで、電気を消して、ペンチに挟んで割ると光ります。いろいろやってみるとなかなか大変です。

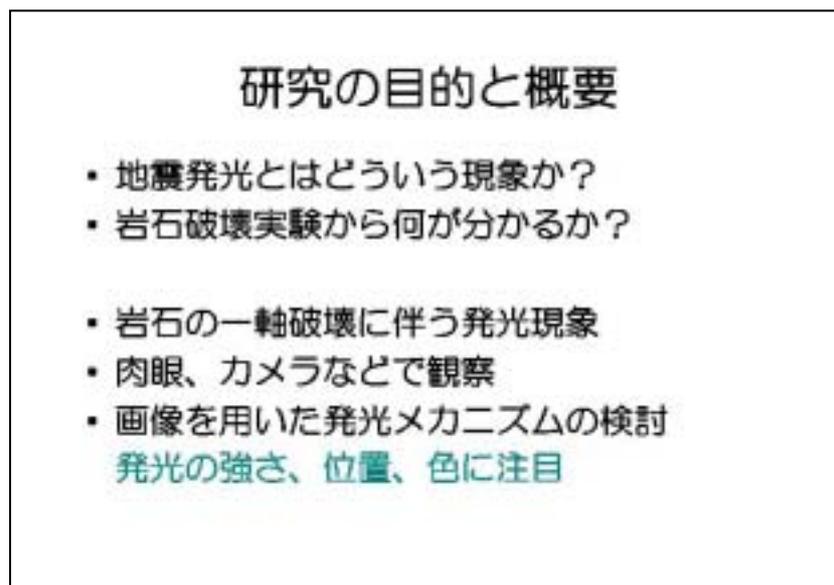
試した中では中日本冰糖という会社の氷砂糖が抜群に光ります。名古屋市東区の中川区の会社だそうです。これはお勧めですので、もし皆さんも興味があったらやってみてください。

「遊び」から「研究」へ

この辺はまだ学生実験の遊びだったのですが、実際に石を壊してみるとやはり何か光ったというのです。学生さんにいろいろ壊してもらおうとやはり光るのだけれども、カメラに撮れない。いろいろ考えて、このときに三人目の講演者の柳谷さんに相談することになりました。彼は岩石実験の専門家なのですが、もう少しプロの壊し方があるということで、この辺からプロの研究になりました。

プロの研究としてどうなるかということ、やはりカメラの性能が重要であるということで、カメラを選びました。あと、レンズの性能も重要であるということで、これも少しレベルを上げました。実験条件も重要である。これはどういうことかということ、石にかかっている力が強いほど、よく光るらしいというのが何となく分かってきたので、できるだけ強い力をかけられるようにしようと思いました。これぐらいから学生実験のおつきあいだったのが、真剣になってしまい、ものすごく勉強するようになって、勉強すれば面白いので、研究になりました。

研究の概要



加藤－図表 4

ですから、ここに書いてある研究の目的は、ある種、後付けです。岩石破壊実験で何が分かったかという、地震発光はどういう現象かを、かなり言えるようになったというのが4年の研究の成果です（図表4）。

どういう実験をしたかという、われわれは岩石を壊してそれを写真に撮ることをしました。岩石の破壊は一軸圧縮破壊という壊し方です。後で写真が出てきますが、これは円柱状の試料を上下に挟んで壊すということです。

観察の方法としては、先ほどからも言っているように、基本的にはカメラで写真に撮ることをとりあえずの目標にしました。今はこの方法がいちばん情報量の多い実験と思っています。ただ、カメラに撮れない例があって、それは光りが弱いのか、そもそも光っていないのかが分からないので、肉眼で観察することも並行しています。

検討点としては発光の強さ、有無を含む強弱です。あるいは石のどこで光るかという位置。あるいは、どういう色が光るかという、色に注目していろいろ検討しております。

一軸圧縮試験機

一軸圧縮試験機というのは、油圧ポンプで上と下から鉄の板を押して、間にあるサンプルを割るという機械です。普通円筒形のサンプルを用意します。

これが実際の実験現場ですが、これはちょっとやらせ写真なのです。やらせ写真の割には雑巾が写っていたりして、やらせが下手なのですが。右側に座っているのが三井君で、

彼がパソコンを使ってカメラを制御します。手前が一軸圧縮試験で、下の板と上の板とで、石を挟んで割ります（図表5）。

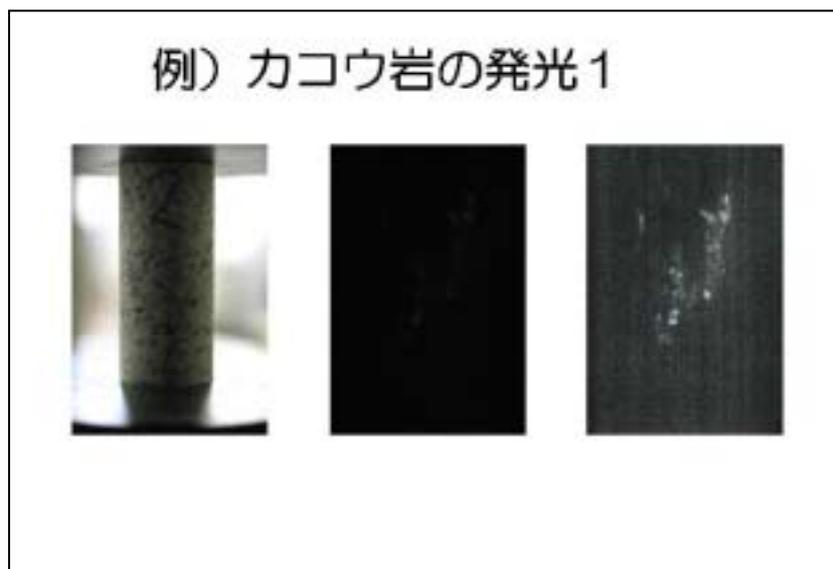
これはやらせ写真であることを明確にするために、サンプルが寝かして置いてありますが、本来は円筒型の平面が上と下にあるようになります。この機械の上の板がぐっと下りてきて石を圧縮して壊すというものです。



加藤—図表 5

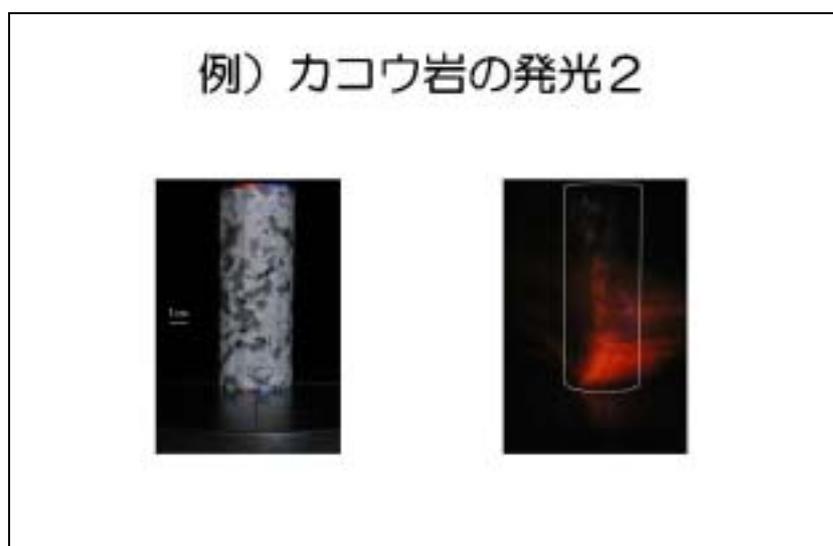
この試験機は1.5m×1 mぐらいのサイズで、ここに幕を張りまして、その周りに映画館用の暗幕を持ってきまして、プレスを完全に暗いところに置きます。そしてケーブルだけを出す。その上に、この部屋自体が暗室にしてあって、二重の暗室にして撮ります。ですから、制御盤は外にあるので、壊すときには力をかけ始めて、大体壊れるだろうという力の大きさの目安があるので、そのときは分かるわけですが、壊れる瞬間は基本的にカメラだけが見ている。部屋も真っ暗にして、いきなりどーんという音がするので、慣れるまではなかなか心臓によくない実験です。

花崗岩の発光



加藤－図表 6

これが最初のうちに撮れた 1 枚です (図表 6)。このサンプルのサイズで、直径が 5 cm、高さが 12cm ぐらいで、これが下、上ですが、これを壊したときに同じ位置で撮ったカメラで光っているのを撮ったのが右側で、全然見えませんね。ちょっと強調してやると、このように光る点が見えます。これは実験初期に撮った写真で、あまりいい写真ではないのですが、われわれの知る限り、論文検索をした限り、これは世界で初めて、岩石の破壊の瞬間をカラーの画像として撮った発光写真だと、われわれは今思っています。特徴的なのは、一つここ (右側下) に青っぽいのがあったり、ここ (右側上) に赤っぽいのがあったりして、



加藤－図表 7

どうも色がいろいろあるというのが一つです。これは写真を強調して処理しているので、色が正確ではないかもしれませんが、どうもいろいろな色があることが分かりました。

(図表7) もう少し例を見せますが、同じように5cm、12cm ぐらいのを撮ると、右側は非常によく撮れている例で、右側上に青っぽい色が出てきます。そして、赤っぽい色と、煙のように見えますが、これが発光です。あと、ここに紫っぽい点が見えますが、これも青と赤が混じったような色で、どうも青と赤の2色はあるように見えます。これから左と右が同じ写真が何枚も出てきますが、同じ位置から撮った写真で、この破壊前の写真で外枠の位置を調べて、それを右側の写真に写してやると、位置が分かります。ですから右側の写真の白い線の位置が石のある位置だと思ってください。

(上田) 写真では、石の外にも赤い色が見えるが、それはなんですか？

(加藤) それは非常にいい質問で、一応説明はありますが、よく分かりません。後で紹介します。

花崗岩の破壊発光

花崗岩をいろいろ壊してみると、とりあえず観察は可能で、撮影も可能である。そして、どうも青と赤の2色あることが分かりました。問題は青と赤の2色が何かということが、われわれの次の興味になっていったのです。

花崗岩：発光の面状構造



加藤—図表8

(図表8) 今度は光る場所がどうかを考えてみました。同じように発光の写真で、左の写

真で左上から右下に向けて、線状に並んでいるように見えます。この実験のときは非常にうまく破壊してくれて、石がほぼ二つに割れました。破壊後のサンプル。右側の写真では、左下の部分と右上の部分と、二つに割れました。この二つを取り出して、左側の写真と同じ方向になるように、ここにマジックで色をつけて、同じ方向になるように組み合わせて、同じ場所に置きました。そして同じ位置の写真を撮りました。そうすると、割れ目が左上から右下にこのようにつながっていて、なおかつ光る点が左上から右下にこのようにつながっています。どうやら光っている場所と破壊しているところが非常によく対応していることが分かりました。

発光：岩種に依存

発光：岩種に依存	
常に発光	発光が確認できない
カコウ岩	ゲンブ岩
ケイ岩	大理石
(石英岩)	トーナライト
石英ガラス	
時に発光	
砂岩	石英の寄与

加藤一図表 9

(図表 9) 今まで花崗岩を主に見てきましたが、花崗岩は非常によく光る石で、われわれにとっては非常にありがたい石です。ただ、花崗岩だけでは面白くないのでいろいろな石をやってみました。たとえば硅岩。硅岩というのはいろいろありますが、われわれが使っているのは非常に石英が多く、石英岩とも言われるものです。あと、工業ガラス、工業用の材料として使われる石英ガラスというものやってみました。これもよく光ります。砂岩というのは堆積岩ですが、手持ちのサンプルでやってみると、たまに光りましたし、光らないときもありました。

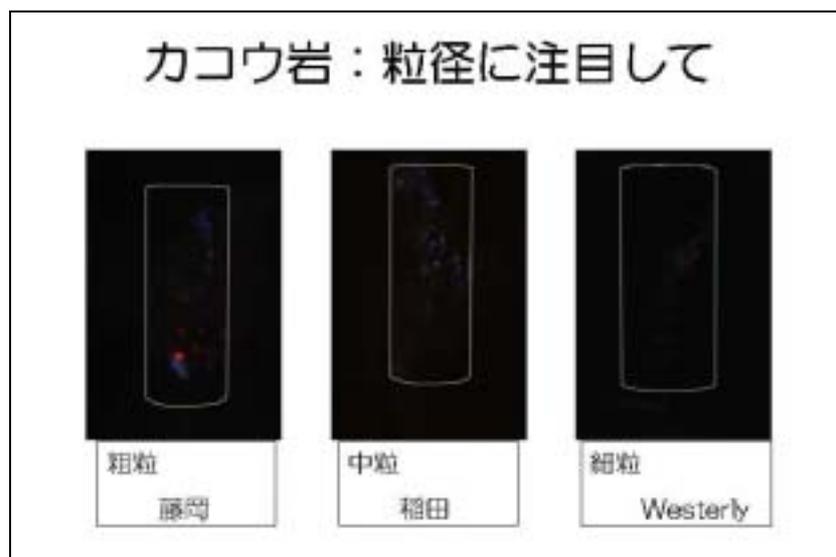
これに対して、玄武岩とか大理石、トーナライトといわれる石は全く発光が確認できません。確認できないというのは、発光しているとしても撮影できないぐらいです。ただ、発光は確認できません。

このトーナライト、あるいはトータル岩というのは、非常に面白い石で、見かけは花崗岩によく似ており、長石と雲母がたくさんある岩石です。ただ、石英の割合が非常に少ない。ですから花崗岩とトーナライト（トータル岩）というものの大きな違いは石英の有無になります。こういうものを見ていると、石英があるとよく光るようだということが類推されます。

花崗岩：粒径に注目して



加藤一図表 10



加藤一図表 11

(図表 10、11) では、石英があると光るのか、花崗岩でも同じように光るのかというと、どうもそうではなくて、石によって光り方が違うようです。石の性質をいろいろ見る

ために、いろいろな分類のしかたがありますが、ここでは花崗岩の粒の大きさに注目して、左から大きめ、中ぐらい、細かいものの三つ実験してみました。上下にマジックで色がついているのは、方向のマーカ―ですので、特に意味はありません。マジックを塗っても塗らなくても同じような結果になることは確認しました。

藤岡花崗岩（粗粒）

いちばん粗粒の例で、同じように直径 5 cm、高さ 12cm ぐらいのサンプルですが、ここに青いものがある、ここに赤い点があります。右側の上に少し青い雲のようなというか、レース状の青い点が見えます。

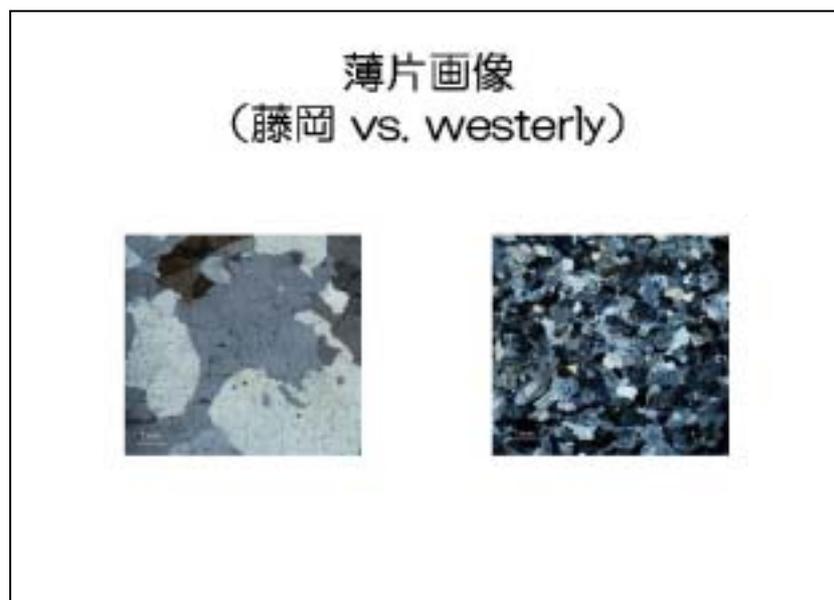
稲田花崗岩（中粒）

少し粒が小さくなると、ここにぼんやりと光っている点が見えると思いますが、全体的に明るさは落ちます。当然サンプルごとにばらつきはあるので、幾つもやったうちの、その中でもよく光る、光らないというのはありますが、系統的に粒が小さくなると光りにくくなります。

Westerly 花崗岩（細粒）

もっと粒を小さくするとほとんど見えません。右側中ほどにぼんやりと赤い筋が見えるかたは見えると思いますが、この程度です。ですから、同じ花崗岩でも粒の大きさを変わると光り方が変わってくるということも分かりました。

薄片画像



(図表 1 2) 岩石を分類するときには、どういう鉱物構成になっているかというのがもう一つの分類のしかたですので、それについても注目してみました。実験が終わった後の試料について、岩石薄片を作って、顕微鏡で確認しています。左がいちばん粗粒のもので、これが 1 mm ですから、大体 1 ~ 2 cm ぐらい。これが (右)、1 mm でいちばん細粒のもので、数十倍の粒の差があることが分かりました。さらにこういう薄片の画像を作ると、それぞれの塊がどの鉱物だということを鑑定することができますので、こういう薄片を同じ試料について何枚も作って、それぞれの試料の鉱物の構成比、存在比を推定することができます。

発光強度は石英粒径が決める

発光強度は石英粒径が決める		
	藤岡	Westerly
石英含有率	低	高
粒径	大	小
発光	強	弱

加藤—図表 13

(図表 1 3) 結果から言うと、石英の量でいくと、実は細粒のほうの Westerly 岩のほうが石英の率が多いことが分かりました。Westerly 岩は大体 3 分の 2 ぐらいですが、藤岡はそれより低い、5 割ちょっと超える程度だと、平均的に言えることが分かりました。いちばん粒の粗いものと粒の細かいものとで比較すると、石英は Westerly 岩が多い。粒の大きさは藤岡が大きい。実際に発光強度は藤岡が大きいということで、石英のあるなしだけではなく、どうも発光の強弱は石英の粒の大きさが決めているという結論になります。

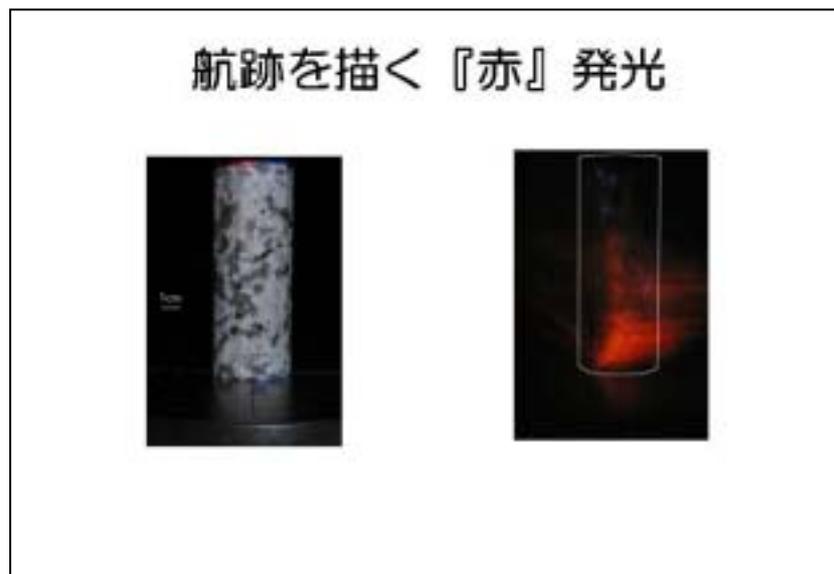
発光点は石英のとなり



加藤—図表 14

(図表 14) 場所についてももう少し細かく見てみましょう。ここでは、石英に注目すればいいことが分かったので、石英を見ます。これはちょっと面倒くさい写真ですが、同じように左側の石を割って、外側の白い線はその位置を写したものです。ここに赤く光ったり、青く光ったりしているのが、破壊時にとらえた発光の写真です。左の写真からどこが石英であるかなぞることができるので、一つ一つなぞっていきます。そのなぞった位置を右側の画像に写しこんだのがこの黄色い線です。ですから、黄色の線の内側とか右側とかが全部、石英になります。これを見てみると、青い点に注目してみると、例えばここですが、青い点は石英の上では光らない。石英の隣で光ることが分かりました。こういうのを何枚も作りましたが、常に石英の上ではなく隣で光ります。ですから、石英のあるなし、粒の大小と発光が関係があることは分かりましたが、石英は光る原因を作っているかもしれないけれども、石英自体が発光しているのではないと考えられます。

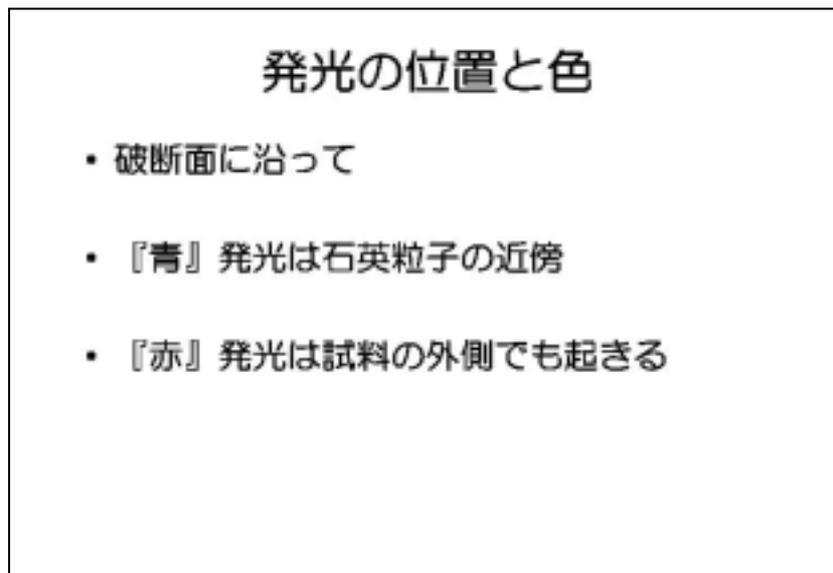
航跡を描く『赤』発光



加藤－図表 15

(図表 15) もう一つ、先ほど上田先生から出た質問で、右の岩石の外に見える赤い部分は何なのだという事です。先ほどと違う筋を引くようなものです。こういうものは非常によく撮れます。割合からいくと青と赤があるものが、ある程度の割合があつて、次に赤しかないものが出てきます。青だけのものは撮れませんでした。どうも赤と青とは別のメカニズムで、赤だけのものがあるらしい。このように動いているということは、岩石破壊をすることで破片が飛びますので、これは破片と関係があるのではない花崗岩は、この辺一帯が光っているというよりは、光っているものが動いていると考えたほうが良いと考えております。ですから、青い点については、基本的に点でしか光りませんが、赤いものはこのように動いていると推察される絵が撮れます。

発光の位置と色

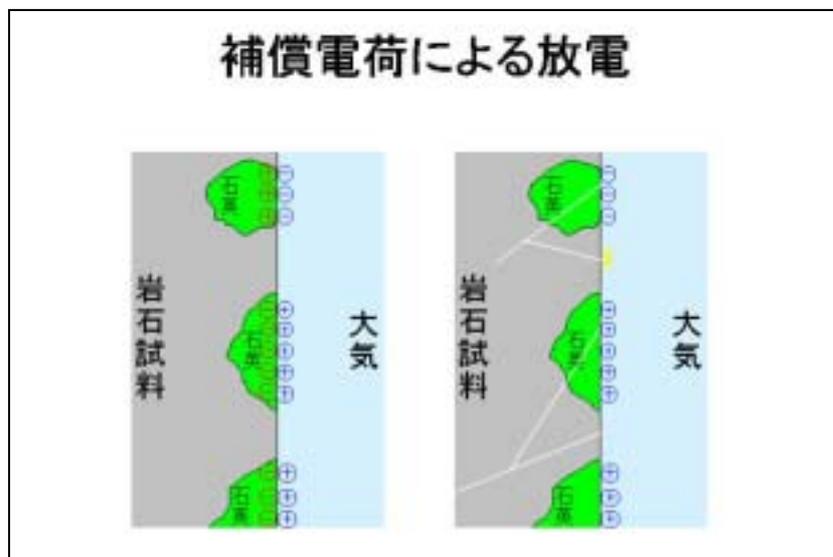


加藤—図表 16

(図表 16) 位置と色に注目すると、どうも破断面が大事である。破断面に沿って光ります。青は石英粒子の近傍で光って、赤は試料の外側でも光る。青は中でしか光りませんが、赤は外側でも光るといのが色と位置のまとめです。

青の粒子は石英粒子の近傍であることを考えると、まず原因としては圧電が考えられる。その次に、気体放電がいちばん可能性があるのではないかと考えております。もう少し言うと、先ほど井筒さんから紹介されたように、補償電荷によって気体放電が起きているかもしれません。

補償電荷による放電



加藤—図表 17

発光の位置と色

- 破断面に沿って
- 『青』発光は石英粒子の近傍
 - 石英結晶の圧電、気体放電
- 『赤』発光は試料の外側でも起きる
 - 破砕による温度上昇、黒体放射

加藤－図表 18

(図表 17、18) 学生さんが作った絵ですが、左側が破壊前の段階で、右側が破壊後の段階です。先ほど井筒さんが示された吉田さんの絵とほぼ同じことですが、石に圧力がかかって上から下から押されているときには、石英には応力がかかって、石英は電氣的に分極します。プラスとマイナスが出ます。外側は大気で、大気にはいろいろな電子があるので、ここからこの石英の分極によってできた電場を打ち消すような電子が集まってくることがあります。これによって、ここでは電氣的な中性が保たれます。

石英の圧電は、石英の置いてある方向で決まりますので、別の粒子では表面にマイナスの電場ができてきて、それに対して正の電場が大気中から補償される。右側が破壊後です。破壊の瞬間はどうなるかという、時間スケールを少し考えなければいけません。少なくとも破壊の瞬間は、試料にかかっていた力は全部抜けますので、圧電の電場は消えます。それに対して大気中の電場はすぐには解消せずに、そこに残り残されます。そのときに、もしこの隣どうしの石英、右側上段と中段で、符号の逆の電場ができていて、なおかつ距離と電場の大きさが十分な条件を満たせば、ここで放電が起きます。放電が起きることによって、大気中の窒素が励起されて窒素の青い色を見ているというのが、われわれが今考えていることです。

そうすると、破断面に沿ってよく光るという考えもよいだろうと思っております。今のところ、色と場所だけの情報でいろいろ考えてきたので、完全に結論が出てこれで正しいのかどうか分かりませんが、青についてはこういうことができるだろうと。

もう一つ、赤はどうかという、試料の外側で起きることから、いちばん分かりやすい

のは赤いものが飛んでいくと考えるのが分かりやすく、そうすると、壊されたときに破砕によって小さな粒が高い温度になって、それが熱いまま飛んでいくのを撮影していると思っております。われわれの今の撮影条件では、時間的な分解能が全然上がらないので、飛んでいるかどうか、もう一つよく分かりませんが、今のところ、これがいちばんリーズナブルに見えるというのがわれわれの結論です。

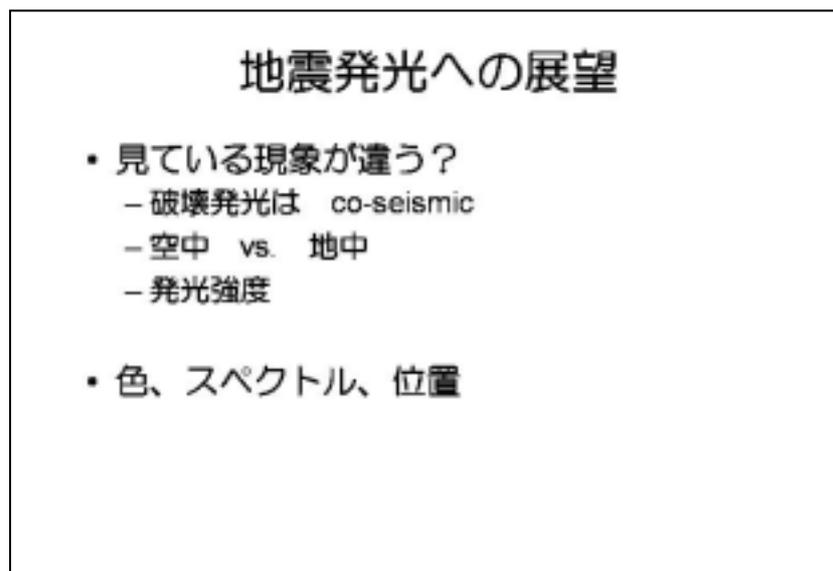
まとめ

まとめ

- 2種類の発光：『青』と『赤』
- 石英の圧電電荷の重要性
- Brady & Rowell (1986)では説明不可能

加藤一図表 19

(図表 19) 発光現象の実験から、2種類の発光、青と赤があることがわかりました。もう一つは石英の圧電電荷が非常に重要であるというわけです。今日はだれも触れられなかったので紹介しておきますが、われわれが行った研究は、岩石を破壊して発光を撮るとい研究に関しては恐らく世界で2例目です。1例目は1986年に行われた Brady & Rowellの実験です。ところが、彼らは発光の色は1種類しか出ませんでした。また岩種によって光ったり、光らなかつたりすることが彼らのメカニズムでは説明できないので、今まで信じられている86年の説は、どうも違うのではないかと考えております。われわれの説に納得していただけるのであれば、少なくとももう一つほかの発光のメカニズムがあるのですが、総体として破壊発光というのはまだよく分かっていない現象ではないかと思っております。



加藤—図表 20

(図表 20) このワークショップのテーマ、地震発光に対してわれわれが言えるかどうかということですが、われわれは、見ている現象が少し違うのではないかと考えております。先ほどからタイムスケールの話がいろいろ出ておりますが、われわれが見ている岩石の破壊発光はコサイスマック（地震時）です。破壊と同時に起ります。破壊と同時というのはどれくらいかということ、肉眼で1 mのところを観察している限り、音と発光が同時に来ます。それぐらいの時間差しかありません。光るのは壊れる瞬間だけです。ですので、われわれは、破壊発光はコサイスマックなものだけを見ていて、われわれのものでは前兆的な現象は見えません。終わってしまうと、場が変わってくるので、ポストサイスマック（地震後）のことは言えませんが、少なくとも前兆現象的なものはありません。

もう一つ大事なのは、われわれが見ている青は、空気中の窒素が光っているものですが、地中にある断層の場合は、多少あるとはいえ、それほど窒素がある状況ではないと思われるので、空中で光ると、地中にある断層が光るのは、なかなかつなげるのが大変ではないかなと思います。ですから、地中と同じ条件で実験をしながら写真を撮るのはまた非常に大変なので、実験的にできるかどうか分かりませんが、ここにはまだギャップがあります。

3番目は発光強度です。むちゃくちゃ暗いです。氷砂糖を割ったときのほうがよく光ります。それぐらい暗いので、地震発光が空を明るくするぐらいなら、氷砂糖工場の上は真っ青になるはずだろうと僕は思いますが、そういうこともないので、けっこう弱いのではないかな。ですから、もし空が明るくなったり、月が出ていないのに出ているかのように感じる、

例えば最初の阪口さんの話などを考えると、どうも単純にわれわれが見ているものを地中に当てはめるのはちょっと厳しいのではないかなと今考えております。

では、どうするかというと、一つ大事なのは、鴨川さんも先ほど触れられましたが、地震発光について、われわれには情報がない。一つは、やはり色、物理的に言えばスペクトル、あるいは波長ですが、色の情報がやはり欲しいと思います。目で見た色はみんな違うので、あるいは目で見た色と写真で見た色も違います。何とかして客観的に色が分かるような工夫が必要であると思います。あとは場所です。先ほどの空全体が光っているのか、あるいは特定の方向が光っているのか、あるいは移動しているのかという問題があります。

もう一つは、多分時間の問題で、光る時間が長いならば時間が長い物理現象が要ります。われわれの実験は、今のところ短い現象しか見ていません。もし実際の地球で起きているのが時間の長い現象ならば、われわれが実験で見ている現象とは少し違うのかもしれない。ですから、今日のワークショップの全体の流れからすると少し道が違うのかもしれない。ただ、壊すと光るのは事実ですし、観察もできるけれども、ただ、阪口さんをはじめ、皆さんが見ているものとわれわれが見ているものを単純につなげるには僕は今のところ勇気がありませんので、もう少し検討して行きたいと思いますし、皆さんのお知恵も借りられれば大変ありがたいと思っております。以上です。

質疑応答

(鴨川) 大変興味を持っています。少し細かい話ですが、青い光が光るところは、岩石が割れたところであつ隣が違う鉱物ということですか。先ほどのイラストの絵だと、花崗岩の真ん中ぐらいが切れていたような気がするのですが。

(加藤) 切れているかどうかはよく分かりません。ただ、この割れ目は特に大きな意味がなくて、石英が割れるかどうかは多分重要ではないと思います。力が抜けることが大事です。つまり、補償電荷だけが残ることが大事なので、石英が割れるかどうかは重要ではありません。問題は割れ目だけで放電が起きるかどうかということですが、一つはフレッシュな面ができることに意味があるのかなと思っておりますが、まだ厳密に詰めきれてはいません。

もう一つは、三次元の物体を二次元で撮っているので、奥行き情報が失われているところがあるので、それはどこまで、この考え方でいくと石の表面が光っていることになるのですが、完全に表面で光っていると聞かれると、検討しなければいけないことはあるかもしれません。

(鴨川) むしろ大気の遮蔽電荷というよりは、石英がもともと持っていた、離れた瞬間は中の補償電荷は動くスピードがすごく遅いですから、電場をこしらえていると思います。しかも割れた面はぎざぎざしているから、電場はより強くなって放電が起こっている。要するに、放電の形に非常に似ていないでしょうか。

(加藤) (補償電荷による放電の図) こことここで起きてもいいではないかというお話になるということです花崗岩が消えきる前に、隣どうして放電してしまえばいいということですか。

(鴨川) そこではなくて、割れたときに割れた面に強い電場が残っている。補償電荷がすぐに動けないから、右のイラストで言うと、この面がばさっと切れたときにはここ(右側上)をチャージでスクリーニングしていると思います。吉田真吾先生の実験だと、チャージが動くスピードはかなり遅いので、恐らくこの辺の電場はここでできていると思います。それで、大気放電のような放電が起こっていることはありませんか。

(加藤) 花崗岩を構成する鉱物の中では石英がいちばん固いので、岩石を壊したとき、石英が最後まで壊れにくいのです。ですから、壊れるとしたらたぶん石英でないところが壊れます。花崗岩の破壊に関しては、石英が壊れると考えていないので、今の補償電荷の考え、つまり大気中の放電がいちばん良いでしょうただし、もう少し石英が多くて石英自体が壊れるものがあれば、石英の圧電電場が消えきる前にそこで何かあっても悪くはないかもしれません。ちょっと検討してみます。

(上田) 石英ガラスは？

(加藤) 岩石は透明でないので、半分しか見えないのですが、石英ガラスは透明なので、非常によく見えて、石全体が光るように見えます。それは多分光ったときに光が中で反射したりしているので、石全体が光っているのではなくて、光源はガラスの中にあるけれども、光りが中で反射して、ガラスを照らしている部分も撮っていると思っています。ガラスを壊すと破砕がすごくて、割れ目を復元することができていないので、全面に光るという感じの写真になります。成分は石英と一緒にですが、結晶ではなくてガラスです。色としては、われわれが持っているものでは白っぽい写真が撮れています。露光しすぎなのかもしれませんが、石英ガラスが青いかどうかは、ちょっと今は分かりません。

(河野) 私は先ほど言いましたように、私は、雷とか放電の専門ですが、もし、この実験をまだ続けてされるのなら、フォトマルチプライヤーを使って、電氣的パルスに受光して、パルス発生時間とかを撮ってほしいと思います。微弱な光でもフォトマルを使えば十分

撮れます。放電が起こっているという話ならば、沿面放電というのが起こるのがいちばん弱点になるのですが、大気中と、固体中と沿面を比べたら沿面がいちばん放電に弱い。ですから、そこで起こると思うので、そういうことが起こっているとは思われるのですが、先ほど言いましたように、フォトマルチプライヤーを使って、パルス信号に光をキャッチして時間的なものを撮っていただきたい。それに関連して、赤と青色との関係ですが、赤は多分言われるように熱的な問題だと思われまますので、かなり継続時間が長い光になっているだろうと思いますし、そういうことを測っていただけたらと思うのが一つ。

それから、地震との関係と言うことですが、壊れた瞬間に出る光だから、前もって出るとか以前の話には結びつきにくいという話をされたので、多分圧電などによる発光も、放電も含めて、そういうものは瞬時的で、壊れる瞬時に起こる光も当然あると思いますが、もっと事前に発光が、あるいは光よりもっとエネルギーの弱い電磁波が出るとするならば、いろいろな界面で圧力が介在して、そういうものが開放されるということはあると思います。ですので、この実験の光と地震の発光現象のメカニズムと直接関係は、同時現象としてはありうると言うことだと思います。

(加藤) 鴨川さんも紹介されていたように、やはり電磁波で、神戸のときもたくさん現象が出ていますが、あれに対応するような発光の目撃談があるかということ、あまりちゃんと調べておりませんが、それほどないのです。ですから、電磁波の観測データがおかしくなった日ぐらいから、発光の目撃談が増えると、それは非常に面白いとは思いますが、きちんと調べておりませんが、どうもそういう感じではないのです。そう考えると、ああいう電磁気的な信号を作り出したソースと、光ったと言われているソースが、果たしてどこか同じもの、共通のソースを持っているかどうかすら、ちょっと分かりません。そういう意味では、客観的で、ほかの電磁波的な観測と比較できるような地震発光の観測例、地震発光の科学的なデータが出てくると、その同時性が検定されるので、そうするとメカニズムも絞りやすくなるだろうと思います。ですから、時間的にいつ、どれぐらいの長さで起きている現象なのかというのはやはり一つ一つ抑えていかなければいけません。今回の実験では、時間が短すぎるので、現象としてあるのはたしかですが、皆さんが見ている長い発光現象とはちょっと違うかなというのが僕の印象です。

(阪口) 本来の粒粒の力学屋なので粒粒のことについて聞きます。応力とひずみのデータや強度のデータも取られていますよね。

(加藤) この実験は取っていません。これは岩石表面には障害物があるべくないところで

光りを取りたいと言うのが最初の目的だったためです。今から考えると取るべきだっただろうと思います。

(阪口) もし取れていたらということを考えましたが、取れていなくても結構です。先ほど粒の大きさの違いによって光りが出る、出ないということがありますという話がありましたが、“粒々屋”の立場から言いますと、供試体の大きさが同じで、粒が粗いほうが、内部の応力の不均質が当然ながらたくさん出ます。局所的にすごく高いひずみを蓄える場所が、粒が粗くなればなるほどたくさんできるので、それを開放するときに出すエネルギーの量は、桁で変わるのです。ですから、石英の量と言うよりは、内部の応力不均質の中でも高いほうだけの値を持っている可能性が、粗粒のほうがあります。マクロに応力ひずみの関係や強度が同じだったときに、粗粒のほうが光りが出るとなると、その可能性が非常に高いだろうと思います。先ほどのご質問にもありましたように、どのレベルに光りは出るのでですか。シャッターは開きっぱなしですね。

(加藤) 数秒間開いている感じです。

(阪口) 破壊が始まる前とか、ちまちまどこかから始まってとか、どのステージでのどの写真というのがあると、情報としてはもっと広がると思います。技術的には大変だと思いますが、各ステージの発光量と発光場所の情報があると、すごく実現象に対してもアプライできるかと思います。

(加藤) 岩石実験をされているかたに聞きますと、破壊自体が始まって終わるまで数十ミリ秒とか100ミリ秒ぐらいなのです。問題は光学系で、短い時間で弱い光をどうやって観測するかというところになって、われわれは積分を取っているんで、ちょっとずるをしているところはあると思います。最初の段階で時間分解能がないことが分かったので、逆に空間分解能を上げることでそちらへいったというのが現実で、テクノロジーとしてはないわけではないので、やろうと思えばできない話ではありません。ただ、少しチャレンジングであるとは思いますが。

(質問者2) 高校で物理を教えていた程度の素人ですが、スペクトルを取れば、空気中なら輝線スペクトルで、どの分子か、どの物質かが分かると思います。それから黒体放射ならば、プランク分布したものが取れるだろうし、そういうことはされているかどうかということと、星を観測するのと同じように言ったら、そういうものをスペクトルを地震のときには撮れば、少し分かってくるのではないかということが一つ。それから、ガムテープは圧電ではないと思いますが。

(加藤) まずガムテープが圧電ではないのはわかっています。発光現象の撮影の例としてお見せしました。

スペクトルの話もそうですが、先ほどの時間分解能と同じで、スペクトルを取ると、このエネルギーを周波数ごとに分けることになるのですが、時間も分けられないし、周波数でも分けられないので、とても厳しくて、天文のかたは弱い光でスペクトルを取られていますが、あれは星を追尾しているので積分しているからできている。これは非常に有名な会社に相談したのですが、ちょっと無理だと言われました。われわれのところで、化学者で分光などしていらっしゃるかたもおられますが、ここで光ることが分かっていたらそこを狙って何かすることを考えるけれども、破壊面の予想もできなくて、非常に弱くて、時間が短いというのは、ちょっと面白そうだけれども現実的ではないねという話でした。

多分そういう意味では、発光している空の色のスペクトルのほうが、時間が長いとするとはるかに撮りやすいので、そこから押さえてもらうほうがよい。こういうのとは全然違うというのなら、それでもかまわないし。多分時間が長い現象であるかどうかは、非常に大事で、先ほど言ったように、移動していてもいいですが、阪口さんが何秒見られたか分かりませんが、多分10秒なら10秒で十分スペクトルが撮れるぐらいのテクノロジーは世の中にあるので、それは非常に大事です。問題はそれをどこでいつ測ってくるかという問題が出てくるのですが、こちらは大変だし、地震発光を測るのも大変です。究極的にはスペクトルを測れば何があってどこでというのが全部分かるのはたしかなのですが、ご指摘は自分たちもよく分かっているつもりです。そういう意味で学生と実験をやっているだけならよかったです。プロのところへ聞きに行くとやはりなかなか厳しいというのが答えでした。それはターゲットとしている現象の特性かと思っております。

多分光学系は民製品のほうがいいかもしれないです。ちょっと古い研究者用カメラとの比較だと、今は一眼レフのデジタルカメラのほうが写真自体はよく撮れます。ですから、時間分解能を無視すればよく撮れるので、僕らはそこでフォトマルをあきらめたのですが、アイデアの中にはありました。とりあえず今のところいちばん明るく光る条件が見えてきたので、そこで何かするというのが次の作戦だと思っております。

(米田) 人工水晶のようなものをセメントか何かに固めて実験すれば、もう少し解析が楽にはなりませんか。

(加藤) それもよく言われて、全然言い訳にはならないのですが、地震学者なので地球にあるものでやりたいというのが一つの理由です。石英ガラスは一つの妥協で、石英ガラス

を割って光ることは分るのですが、それを突き詰めていくと違う学問になってしまうような気がするのです。

実際に壊れると光るという現象は、工業的にはいろいろなところでやられていて、例えばなぜ石英ガラスだったかという、光ファイバーの研究をされている人は石英ガラスを壊しているのです。なぜかと言うと、折れたときにノイズが出て、それが信号を乱すので、石英ガラス、光ファイバーが壊れたときにどういうシグナルが出るかが非常に大事で、そういう研究をされているという話があったので、実際にやってみると、なるほど、光るね、と思いました。それが最終的にやはり花崗岩の現象を何とか説明したいというときには、純系にすると物理に近づいてよく分かるし、測りやすいし、説得もしやすい、でも、見たいのは複雑系だというところで、すごくないものねだりをしているのです。

ですから、人前でしゃべるのも恥ずかしいような話ですが、要するにちょっと、やりたいこと、最終的な地震発光というゴールと、今われわれがやれることに差があって、テクノロジーと財布の関係で今のところこういう感じで研究が進んでいます。今後、改善できるものは改善していきたいとは思っております。

(相澤) 加藤さん、どうもありがとうございました(拍手)。

すみません、ちょっと時間が超過してしまっているのですが、休憩なしで。上田先生にお話ししていただくということで、よろしくお願いします。

「まとめ」

上田 誠也 氏



私は大変な老兵でして、こういう会に行くと大抵最後に話をしろと言われるのですが、大抵の場合時間がなくなって、私はしなくてもいいよと言って終わってしまうことが多いのですが、今日はさせていただこうかなと思いました。

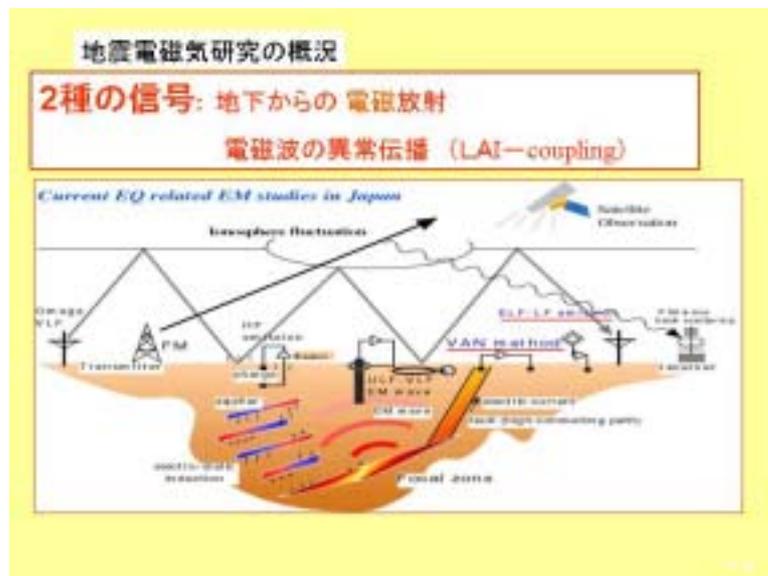
(以下スライド併用)

2種の地震電磁気現象

いろいろなお話があって面白かったのですが、私もここにいる鴨川さんも井筒さんも、先ほどから名前が出ている長尾君も、要するに興味は基本的には地震予知なのです。地震

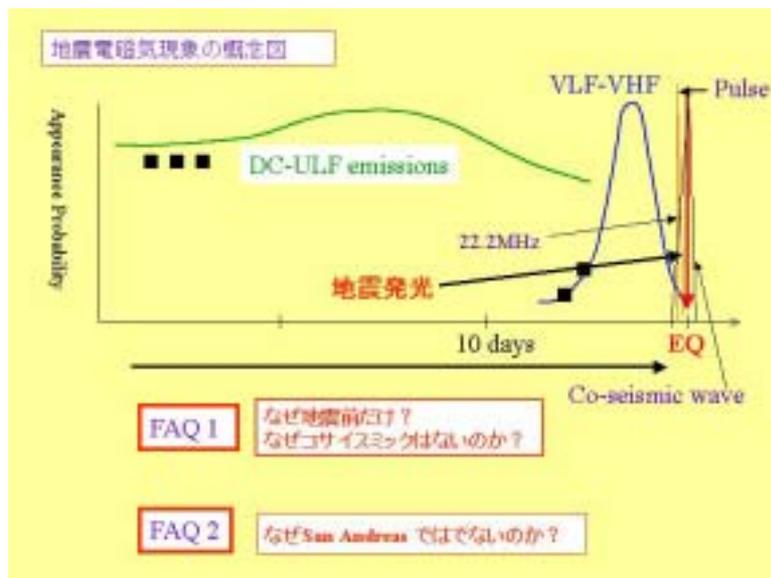
を予知するのに、地震学者だけの手にゆだねていたのではできそうもないことが数十年の結果でよく分かってきたので、「我々のほうができるかもしれないぞ」と始めたのに、すでに10年以上もたってしまって困っているわけですが、そのバックグラウンドについてお話しさせていただこうかなと思います。

まず、我々は直流領域から、メガヘルツまでの領域の地震前電磁現象に興味を持っていますが、それには大別して2種類あるようです。一つは地下からの電磁放射シグナル、もう一つは電磁波の伝播異常です。(図表1)



上田—図表1

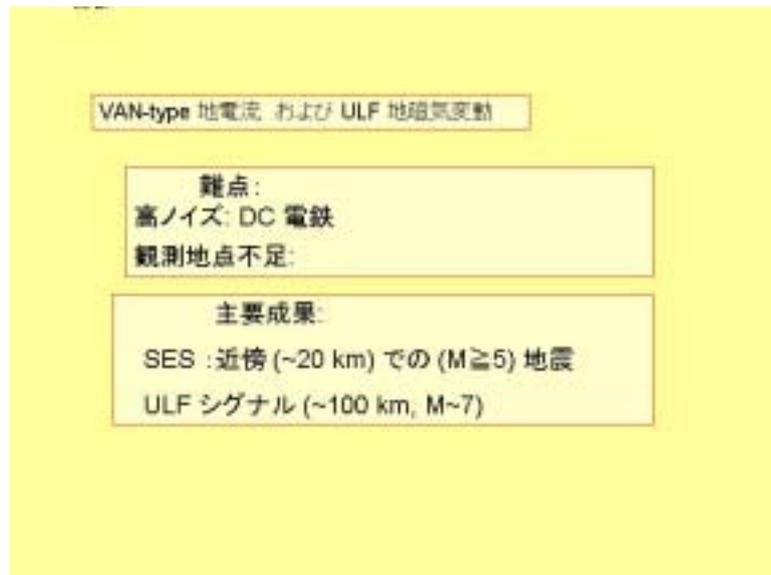
図表2は我々が持っている非常に荒っぽい、あまり定量性のない概念図です。時間は右に向かって進み、EQで地震が起こるわけです。時間スケールのオーダーとしてこれが10 days。ただし地震直前は短時間にいろいろなことが起こるので時間軸はうんと拡大されています。縦軸もシグナルが出るとしたらこのあたりだろうという確率的なもので、これまた目安に過ぎません。たとえば、経験的な事実によれば、DC地電流シグナル(VAN法でのSES)やULF地磁気変動の異常は緑の線のように地震寸前にはあまり出ないようです。



上田—図表 2

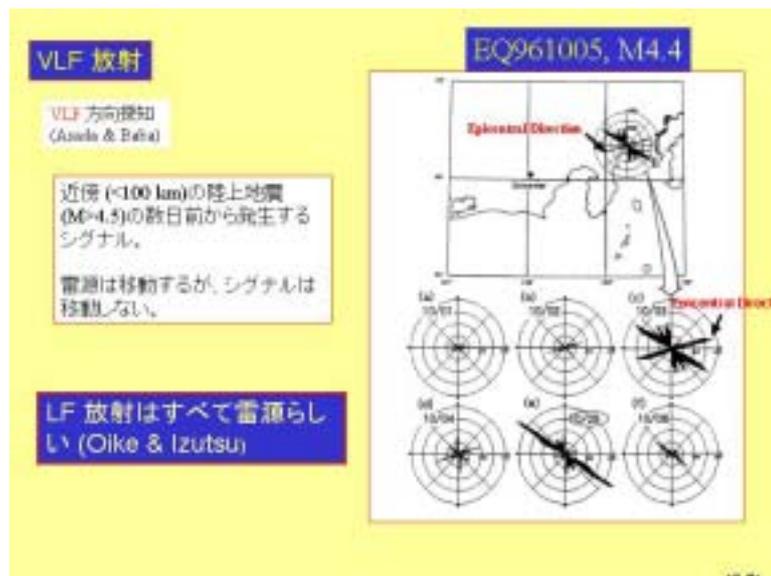
・低周波シグナルと高周波シグナル

私たちはもっぱら、これらの低周波シグナルを観測しています。図表 3 は数年間の研究成果の要約です。経験的には、20km ぐらい近くのところで、マグニチュード 5 より大きな地震があれば S E S (Seismic Electric Signal) が出るということと、U L F の地磁気のほうもマグニチュード 7 クラスが 100km ぐらい以内の近さで起こればシグナルが出るということです。実際には日本では、D C や U L F の観測はなかなか困難です。なぜかと言うと、非常に電磁的なノイズが大きいですから。D C 駆動の電車がくまなく走っていますから、これがものすごいノイズを出すのです。それから日本は人口が多くて土地が少なく、何キロというスパンを必要とする観測地の確保は非常に難しい。そういうところは、なるほど電車から遠いところはあるけれども、そこには電気もないというわけで、非常にやりにくい。



上田一図表 3

図表 2 に戻りますが、周波数の高いほうの信号 (V L F から V H F) は、出るとしてももっと地震に近い時にでるようです。傾向としては高周波ほど後で起こるらしい。図表 4 には浅田&馬場による V L F 帯での観測結果が示されていますが、相当 convincing だと思います。しかし、井筒&尾池によると、L F 帯になると、どうもすべて雷源のノイズのようです。高周波になると、地下から地上までの減衰 (skin depth) が深刻な問題となります。それらとは別に pulse と書いた信号群 (ミリセカンドクラス) も報告されていますが、地震の数分程度前なのでこれらと地震との相関は疑い難いと思われず。



上田一図表 4

- FAQ1. なぜプレサismicだけ？ コサismicは？

図表 2 の下の方に FAQ1, FAQ2 とありますが、これらの FAQ (frequently asked question) は、地震電磁気学に対する主な疑問点です。

まず、FAQ1 (図表 5)。何で地震の前だけにシグナルが出るのか？ 本当の地震のときにどうして出ないのかという疑問です。これは地震電磁気シグナル否定論の根拠とされてもいます。シグナルがストレス変化に関係するものなら、最大のストレス変化時にシグナルが出ないのでは、事前のシグナルなど信用できないというわけです。この感触はわかりますが、実は正しくないと思います。ある理由(図表 6)があって、私は地震時のシグナルそのものにはほとんど興味はなかったのですが、この問題がある限り、どうしても人は納得しないので、コサイスマックも調べました。その結果わかったことは、確かに普通の意味のコサイスマックなシグナルはいつも出るのですが、それは本当のコサイスマックな電磁シグナルではなく、“co-seismic wave” シグナル (図表 2)なのです。地震波の振動そのものや、地震波が来たために、地下水が動いたりして電磁効果が発生するという現象なのです。ですから、依然として真のコサイスマックシグナルは観測されていないのです。ところで、本日の問題の地震発光というのは、まさにコサイスマックに起こっているのではないのでしょうか？ ここにも地震発光の一つの重要性があると思います。

FAQ 1

なぜ地震前だけ？
なぜコサイスマックはないのか？

観測事実

通常の観測法 (high-cut) では、総ては co-seismic wave.

High freq. sampling では msec の直前 pulse 観測

True co-seismic は観測されたことはない。

上田—図表 5

Possible Answer: これは二つは異なる現象だ

Pre-seismic signal はストレスのスロー増加過程で発生
EQ は急激なストレス解放過程

破壊時には、高周波pulses (実験)。

観測不能？
地震断層 (~10 sec?) には低周波成分もある。
EQ時には、高周波もでない？
EQは破壊でなく、すべりだ。すべりではでない？
直前pulseはすべり開始時。EQ時にはstress levelは低下？
実験！！

地震発光はEQ時？！ 光周波数。メカニズムが違う？

上田一図表 6

なぜ真のコサイスマックシグナルがないのかに対しては、究極的な答えはまだないですが、私の考えは図表 6 のとおりです。基本は、地震前はストレスの増大過程であり、地震そのものはストレス解放過程だということです。二つの過程はまるで違うので、同じ結果がおきるべきだという根拠はない。別の現象として考えねばならないでしょう。地震前にはまだ地震が起きていないのですから、ろくに何も起きていないわけです。ストレスがだんだん増えている状態です。その途中でシグナルが起こる。これが地震の前のシグナル。一方、地震のときはストレスが一挙に下がるのです。全然違う現象なのですから、これが起こったらこれも起こらなければいけないという必要はないのです。これは私の非常に大事なメッセージです。

SES 発生については、いろいろの考えがありますが、私は震源域のストレスレベルが徐々に増大して、ある値に達すると臨界現象 (Critical phenomenon) として電位変動が起きるという Varotsos 教授らの説(詳しくは省略)が、信憑性を高めていると思います。これには特段の異常事件は必要ないのです。事実、SES に伴って同時に微小地震が起きたとか、ストレスが急に変わったとか、strain が急に変わったとか、地下水が急に動いたとか、そういうことは何も観測されていない。この考えが、地震時の瞬間的なストレス解放過程に適用されるとは思えません。

ストレス解放時、すなわち破壊時に高周波の電磁波が発生することは、実験室では確かめられています。高周波ですから、通常の low pass 式の地電流測定では測れないという考えもありますが、現実の大地震の断層での破壊過程は秒単位の時間がかかるので、エンヴ

エロープとして低周波もあるはずだからその考えは成り立たないでしょう。そうすると現実の地震では高周波信号すらでないのではないか？ 実験室と自然との齟齬か？ ひとつの考えは、最近認められるように、地震は破壊ではなく、既存断層のすべりであり、すべりでは高周波もでないのでは？ ということです。 残念ながら、すべり時に電氣的に何が起こるかについては、室内実験すら十分なされてはいません。喫緊の問題でしょう。

一方、地震発光はコサイスマックも、プレサイスマックあるようですが、これはまるで周波数の違う現象ですから、発生メカニズムもまるで異なるのでしょうか。 かくて、FAQ1は未解決なのです。

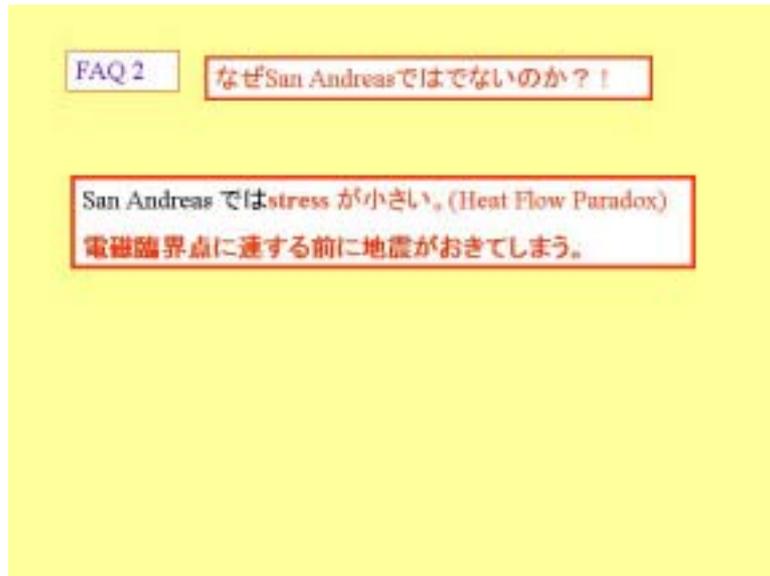
・ FAQ2. San Andreas 断層のなぞ解き？

もう一つ、FAQ 2 (図 2)も、われわれの方法に対する批判の根拠とされているものです。アメリカのグループは、こと地震電磁気学に関する限り著しく後れています。後れているというか保守的というか、懐疑主義というか、まともなことはほとんどやらないのです。やっていると称しているのはカリフォルニアの San Andreas Fault です。特に Parkfield で集中観測をしているのです。2004 年には、ここで“待望の”M 6 クラスの地震がおきましたが、世界最高と称する観測網をもってしても、電磁現象を含めて前兆現象は何も出なかったといっています。地震の前も出なければ、コサイスマックも出ない。(例の地震波によるシグナルはでたが、真のコサイスマックは出ない。) ですから、電磁気的な方法で地震を予知することは非常に望み薄であるという論文を書いております。

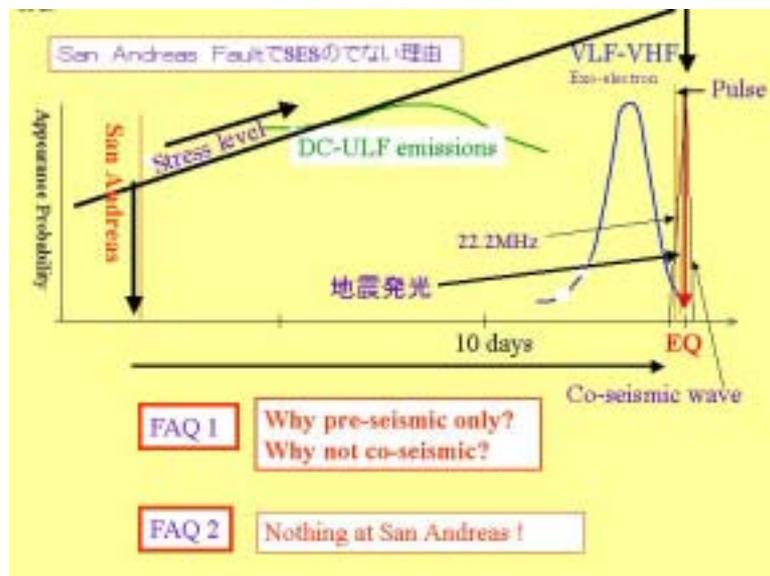
それに対して、Parkfield での観測は観測法もデータ解析法も世界一どころか、旧態依然としたお粗末なものだという反論を書いたばかりですが、仮に Parkfield では本当に信号が出なかったとしたら、軽々に電磁気的手法全体を否定するよりは、他の場所では観測されたものが Parkfield で観測されなかった理由を考えてみるほうがサイエンスの正道ではないか？ ここから先は一昨日ぐらいに考えた話ですから、まだまだ定量性のない話です。

San Andreas 断層では、近傍で幾ら地殻熱流量を測っても断層運動に伴う摩擦熱の発生が認められない。San Andreas 断層の「熱流量パラドックス (HF P) “といわれています。そして、それは断層に働く摩擦抵抗力—ストレス—が極めて小さいからだとして理解されています。どのくらい小さいかは問題ですが、とにかく非常に小さい。ですから、San Andreas 断層 Parkfield では、ストレスが電磁的な臨界値に達する前に地震が起きてしまうのではないか？ これが私のスペキュレーション (図表 7) です。図表 8 はその説明のために図

表2に加筆したもので、斜めの黒い線はストレスレベルの増加を示しています。普通はこの線はDC emissions,すなわちSESの発生する領域を経て、地震(EQ)に至り、ドロップするとされているのです。ところが San Andreas 断層の強度は弱いので、DC emissions の前に地震を起してしまうというわけです。 実に簡単なアイデアです。



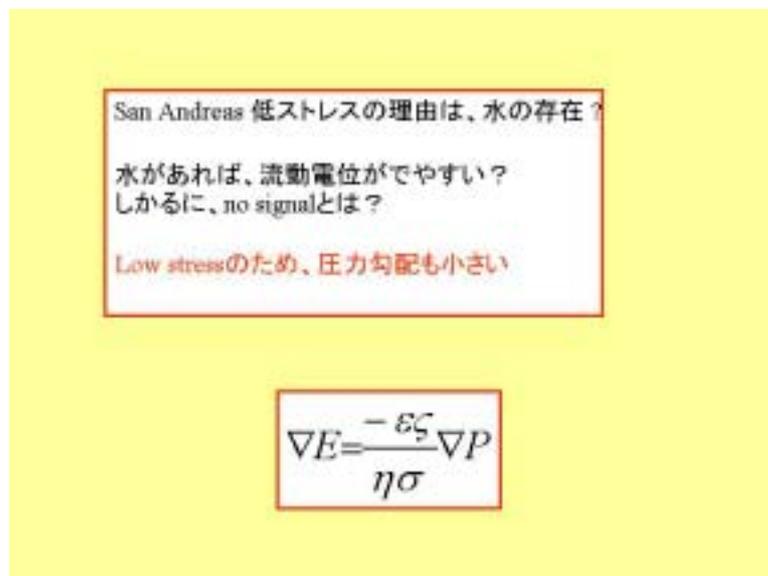
上田-図表 7



上田-図表 8

これには問題がないわけではありません。San Andreas 断層の低ストレスの原因としては、水の存在が挙げられているからです (図表9)。水があるとポアプレッシャーが増えて、強度が減り、断層が滑りやすくなるわけです。その水の存在の原因については、最近、北米西岸が、トリプルジャンクションの移動に伴って、沈み込み帯からトランスフォーム断層

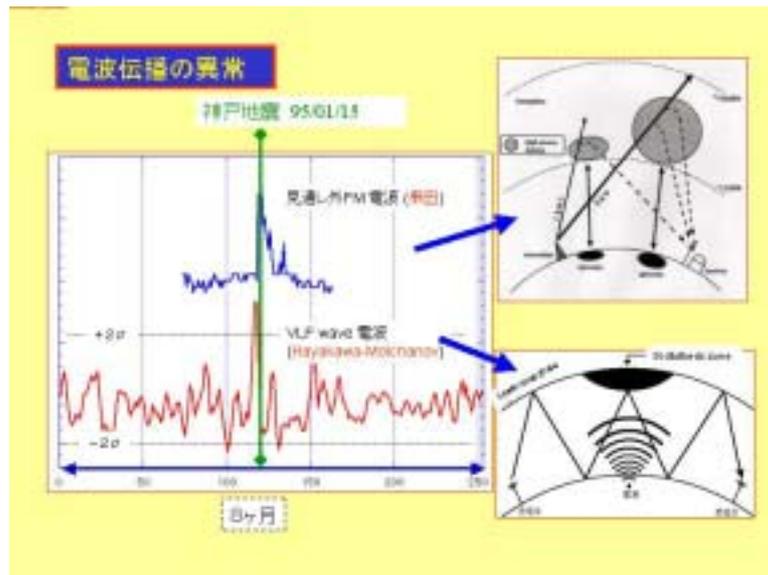
へと変化した後でおきた温度上昇による蛇紋岩の脱水などが提案されています (Kirby, 私信)。水があれば先ほどからのお話に出てきた流動電位が発生して、むしろ電氣的信号がでやすいはずではないかと考えられるわけで、困ったなと思えます。それに対する答えは図表 9 の下段の式で、これまたも非常に簡単な話です。電位差は *pressure difference* に比例するわけで、*pressure difference* は低ストレス場では所詮小さいにちがいない。ですから、これもあまり問題ではないのではないかと。結局、SES が 日本や、ギリシャでは出るのに San Andreas では出ないということは、別に困ったことではなく、むしろ地震発生の物理学にとって有意義な情報なのではないかということです。しかし、このストーリーはあまりに簡単なので、どこかおかしいのかもしれない。



上田—図表 9

電波伝播の異常 (LAI coupling)

もう一種類の地震電磁気現象— 電波伝搬の異常— も近頃、非常に声高に言われています。図表 10 は神戸地震のときの例です。それは震源からシグナルが出るということで



上田—図表 10

はなく、地震の前に人工電波の伝わり方に異常が起こるといふのです。発信点から受信点まで電波は大気中や電離層を通過して伝播しますが、その経路が来るべき地震の震央上空を通過する場合には異常が生ずるといふわけではあります。電離層というものは100 kmも上空ですから、これは実に不思議といえれば不思議なことではあります。この現象はLithosphere内の現象である地震の前兆現象が、大気圏(Atmosphere)や、電離圏(Ionosphere)とカップルしているのだという主張から、これをLithosphere—Atmosphere—Ionosphere Coupling(LAI Coupling)といわれています。それに対する説明はないことはいかぬけれども、完全なものはまだありません。大問題です。

図表11にはピューリネ(Pulinets)という人のスペキュレーションが書いてあるのですが、地震の2週間ぐらい前から、地下からラドンが強烈に出る。ラドンが出てくると、空気中の中性分子をionizeする。ionizeされたものは周りの水分を多量に吸収する。Hydrationです。そうすると空気中のhumidityが全く減ってしまうと同時に、潜熱によって気温が上がる。ローカルには数度も上がるというのです。そうすると大気は不安定になって、今度は大気重力波(AGW: Atmospheric Gravity Level)が発生。それがどんどん上に上がる過程で電荷の分離をおこし、その電場が電離層に突入していろいろなことが起こるのだというのです。そうすると、そうすると連続で、風が吹けば・・・的な趣きですが、ラドン放出とか、衛星観測による地表赤外温度上昇など個々の事象はしばしば報告されているので、それらを統合しようという意気込みは伺われます。地表温度の上昇を地面や海水の温度ではなく、地表の空気の温度の上昇としてとらえるのは合理的のように

見えます。また、この話には、コサイスマックの要素はまったく入っていません。それはそれで別な現象だからでしょう。こういうこともあるので地震予知の観測のためにはサテライトを使うというのは世界的に非常に盛んになりつつあります。衛星利用に関しては、日本はまったく遅れています。本当は、それを含めてわが国の地震電磁気学や地震予知研究の問題点（図表12）を語ろうとも思ってやってきたのですが、例によって時間切れなので説明は省略します。

LAI-coupling Sergey Palinets のspeculation

1. 主震の約2週間前かつF11放出→空気を電離。
2. イオンは水蒸気分子を集め、空気の湿度が低下。
3. その際の潜熱で気温上昇→大気重力波 (AGW)発生。
4. AGW上昇 →電荷分離→電場発生→電場擾乱。

これもNo co-seismic

上田—図表 11

最後のメッセージ:

- 1) 短期地震予知にはどうしても非地震学的前兆現象が必要。
- 2) 20年以上におよぶ、非地震学的前兆現象研究の成果に関わらず。
- 3) 一般的認知からは程遠い。Why?

A) 地震予知communityの無関心、偏見、不勉強、それに既得権益
B) 決定打的観測乏しい。

C) 基本的問題が未解決。
シグナル発生 の物理機構
伝導性地球内のシグナル伝播
コサイスマックには何がおきているのか？
LAI-coupling の機構

上田—図表 12

まとめ

地震の前には、時間とともにストレスがじわじわと増えていき、ある臨界値に達すると

SESやULF地磁気変動エミッションが出る。そのときには何ら、特段の事件は起こる必要はない。ほぼ同じころ、LAIカップリングも起こる。これにはラドン放出かなにかの事件が必要かもしれない。そして地震のときにはストレスが瞬時に下がって話は終わる。そのときにはどうもシグナルは出ないようだ。

San Andreas では、断層強度が弱いので、こんな現象が起こる前に地震になってしまうから電磁信号は出ないのではないかと？ アメリカ人はどうも自分だけが正しいと思いがちですが、そういうわけでもないのだよ、あなたのところが特別なのではないかねということです（拍手）。

質疑応答

（山本） 元オートバイの開発をしていた静岡県の子と申します。新潟県中越地震の地表の変異を気象庁が電子測量して、それをシミュレーションした結果を見ますと、まさに爆発のような現象。地面の盛り上がり、断層の変異というよりは、地下で爆発が起きたような現象に見えるわけです。そういうことでずっと追いかけていくと、今先生がおっしゃったように水が地下で金属に触れて、原子状の水素ができるとすると、そこが非常に大胆なスペキュレーションですが、核融合を起こすと（笑）。核融合を起こすと松代群発地震のヘリウムスポットとか、その辺も自然に説明できる。その発光現象は、核融合でも非常にきれいな太陽の中の核融合と同じように、ヘリウムしか出てこないという非常にきれいな核融合ですが、その最初の段階で水素原子が重水素になるときに、陽電子が出るのですが、陽電子が当然プラズマ状態になっていますから、電子と対消滅するときに0.51MeVの電磁波を出す。それが、例えば亀裂があればそれを伝わって上空に駆け上るということも考えられるのではないかと思います、非常に大胆な……。コメントのしようがないかと思いますが。

（上田） これは発光のメカニズムとしてですね。私はそちらのほうはいかにもだめなのですが、物理としてはどうでしょう？ 常温核融合というのは起これば大変なことですが。

（山本） 私のお願いとしましては、水爆の地下実験等でやったときの写真などを見ると、光が見えるような感じがする。地下でその0.51MeVの電磁波が出たときに、それがどんな形になって地表に出てくるのか、その辺は私は機会屋なので全然知識がないのですが、どなたかその辺で何か情報を持っておられるかたがあれば、教えていただきたいと思

っているところですよ。ありがとうございました。

(上田) 普通の意味で、電磁波が中央を通るのは通りにくいわけですね。つまり、地球は伝導体ですから、数百ヘルツよりも上になると、ほとんど1 km もいかないうちに消えてしまうわけで、トンネルの中でラジオが聞こえなくなるのと同じなので、周波数が上がれば上がるほど難しくなるので。いわゆる光クラスの電磁波は地中は決して通らないと思います、今おっしゃったように何か開いていたりすれば飛び出すかもしれませんが、いかがなものでしょうか。

(石川) 中越地震と松代地震の話が出たのでちょっと。中越地震の地表面の変動は、断層モデルできれいに説明できるようになっているはずなので、それは多分誤解されていると思います(なお測量したのは気象庁ではなく、国土地理院です)。あと、松代地震については地下の深部からの水の流出によって地震が起こっていたと。地殻変動とか水の成分とかは一応解析されて、そういう話で十分理解できているので、そういうことは考えなくても解釈されています。

(上田) 発光もですか。

(石川) 発光は違います。地震が起きていることと地表面での地殻変動についての解釈です。

(質問者8) 地中のDCを含めての電気現象は、地質の構成の在り方によって、もちろん水も含めてですが、かなりの差が出てくるでしょうから、アメリカで起こらないとかギリシャでは成功例が多いとか、日本でもノイズの関係もあってなかなか測りにくい面もあるという話を今されたと思いますが、やはりマグニチュードとか、あるいはエネルギーの問題もあるけれども、地質の構造はかなり違いがあって、出るところがあったり、出ないところがあったりするのはいくらあるのではないかと思います。それと、結論のところにもあったかと思いますが、測定場所からいかにローカルに近い範囲でないと、地震との関係というのは、あの方法では分かりにくいのではないかなと思います。

(上田) 今おっしゃったことには二つ要点があったように思います。一つはシグナルが発生するにも地質の条件によっても違いうだろうということ。それはありうるのです。それから、もう一つはどのくらい離れると測れなくなるかということ、あまり遠いとだめだろうというのもよく分かるのですが、それも地質によって大いに変わるわけで、遠くまで信号が伝わる場所と伝わらないところもあるし、どこかで地震が起こったときにそれを観測できる場所とできない場所が、地質のヘテロジニティによって本当にあるのです。で

すから、地球がべた一面のホモジニアスでない限り、どこでもいつでも観測できなければいけないと反対するのは実にばかげたことだと思います。どうやら測れたり測れなかったりするようなものはサイエンスではないと、アメリカ人は思いがちのようなのです。

(安藤) 別に結論と言うわけではないのですが、本日のワークショップの私の印象を述べます。発光現象は事実として間違いなくあるけれども、現在は説明のつけようがないくらい手がついていない、ということがわかったと思います。こんな現象がまだ地震に関連してあるということは重要なことです。

一方、今の地震学は、断層上のどこで何が起きたということは詳細に明らかにすることができます。ひとたび起きてしまった地震の地殻変動や地震波などの力学現象の理解は進みました。しかし、それ以外のことに関してはこれだけ分からない、ということが分かっただけでも重要ではないでしょうか。今まで我々は力学的な現象に焦点を当てすぎたのだけれども、これからは、発光現象も含めて、もう少し違った方向から地震現象の解明に向かえば、新しい芽が出てくるのではないのでしょうか。今日に加藤さんの実験も含め、阪口さんから鴨川さんのお話、井筒さんのお話などから、今後の日本はそういう方向に向かっていく必要があるのではないかと思いました。

(上田) せっかく安藤さんが **conclusion** をおっしゃったのに、また付け足すのは悪いのですが、私は何か言い忘れたと思っていたので、それだけ足しておきます。発光現象について今日いろいろな話があって、ヒストリーの話もありましたが、寺田寅彦の論文は1931年に出ました。発光現象のみならずですが、いろいろな面で、あの時代から一歩も進んでいないことが多いと感じました。寺田先生の論文を読むと、メカニズムについてもみんな書いてあるのです。そのうえ、何と書いてあるかという、「モダンサイエンスモロジストはこういう現象に興味を持たない」と書いてあるのです。そういうことを私も口が酸っぱくなるくらい言っているのですが、1930年といたらもう80年ぐらい前ですが、いまもそれと同じ状況なのです。人間に一体進歩はあるのだろうかと思わざるをえないのが、今日のごろです。

(相澤) どうもありがとうございました。それでは、本日のワークショップはこれで終了したいと思います。講師のかたに、また拍手で終わりたいと思います(拍手)。

参考文献（書籍のみ）

井筒 潤（中部大）

『動物は地震を予知する』 ヘルムート・トリブッチ 朝日新聞社 1985年

著者は「地震前に動物が異常行動を起こすのは帯電エアロゾルが原因」と主張しており、「地震発光現象」も同じく帯電エアロゾルが原因で発生するのではないかとしている。著者の出身地であるイタリアでの例を数多く示しているため、一般の方でも比較的読みやすい本である。地震発光現象に関して大きく取り上げており、今回の講演では「地震発光現象の研究の歴史」に関して大いに参考にさせていただいた。

『地震の前、なぜ動物は騒ぐのか』 池谷元伺 NHK ブックス 1998年

動物異常を含めた様々な地震前の前兆現象の正体は電磁気現象であることを様々な再現実験などで示し、地震という現象を電磁氣的な観点から研究する電磁気地震学を提唱している。特に地震発光に関して、兵庫県南部地震を実例として様々な仮説の検証を行っている。巻末にはこれからこの分野の研究を志す学生や専門家向けに各種論文や書籍などの参考文献リストが記載されている。

『地震に伴う発光現象の研究及び資料』 武者金吉 岩波書店 1932年

日本国内で発生した地震発光現象の明治以前の100の目撃例と明治以降の2157の目撃例をまとめたものであり、日本の地震発光現象研究の原点であり集大成ともいえる本。入手はほぼ不可能であるが、名古屋大をはじめ大学図書館に蔵書されている。資料集であり、読み物としては一般向けではない。

『新編 日本被害地震総覧』 宇佐美龍夫 東京大学出版会 1987年

西暦416年から1984年までの日本国内で発生した被害地震の資料集。地震発生の日時や被害記録から作成した震度分布や震源位置、マグニチュードなどが記載されている。講演でも紹介した869年の貞観の地震をはじめ、1855年の安政江戸地震など地震発光の記録が顕著な地震にはその旨が記載されている。こちらも資料集であり、読み物としては一般向けではない。

『地震予知研究の新展開』 長尾年恭 近未来社 2001年

電磁気学的手法による地震予知研究の近年の知見を纏め上げた本であり、地震発

生前に様々な周波数帯で観測された電磁気的な異常の例を数多く示している。地震発光については兵庫県南部地震で報告されたもののみであるが、地震発光現象の原因と考えられる地震前の電磁気的シグナルの発生に関して、様々な説を説明している。少し専門的な記述もあるが、丁寧に説明されておりわかりやすい。

『地震予知はできる』 上田誠也 岩波書店 2001年

上記『地震予知研究の新展開』よりも、より一般向けに書かれている。地震発光に関する直接的な言及はほとんど無いが、地震という現象の基本的な説明をはじめとして、過去の地震予知研究の歴史、そしてギリシャで行われている地震予測方法である VAN 法に代表される電磁気学的手法による地震予知の研究の説明などわかりやすく説明している。

『中国の地震予知』 尾池和夫 NHK ブックス 1978年

中国では地震予知研究を国家事業として行い、地震直前の避難に成功している。この本では中国における地震事業のシステムだけでなく、1970年代に中国を襲った複数回の大地震に対する具体的な予知・予測・予防手法が詳細に紹介されている。唐山地震などの直前に発光現象が目撃された実例なども紹介されており、中国の地震予知に対する大規模な取り組みをわかりやすく紹介している。

『前兆証言 1519!』 弘原海清 編・著 東京出版 1996年

収集した兵庫県南部地震の前兆証言を、空や大気、大地の変化や、動植物の異常などに分類しまとめたもの。発光現象の証言も多く含まれている。ただし、編著者はこれらの前兆証言に対して一切手を加えておらず、科学的な選別なども行っていないので、資料として扱う際には注意が必要である。

おわりに

ワークショップの参加者は、記帳していただいた方だけでも、65名に達した。最初の阪口さんの講演により、ワークショップは一挙に盛り上がった。阪口さんの原稿は、当日の話をそのまま載せたもので、話し言葉がそのまま原稿になる珍しい例である。それだけ話がうまく、多くの人を惹きつけた。司会者の相澤さんが、質疑の時間を十分に取ってくれたので、討論が活発になり、意義深い会となった。当日のワークショップは、大変好評であり、講演や討論の内容を何らかの形で残せないか、との声がいろいろな方から寄せられた。本にまとめて出版してはとの意見もあったが、まずは講演内容を報告書としてまとめることにした。当日の様子は、ビデオに収められていたので、そのビデオを起こして原稿を作成した。講師に加え、当日、会場から活発に議論していただいた、河野俊彦さん（福山大学）、石川有三さん（気象庁）、辰巳直人さんにも、本報告書の原稿をチェックしていただいた。

講演の様子のビデオ（抜粋）を、琉球大学の集中講義（地震学）の際に見せて、学生諸君に感想文を書いて貰った。「地震の発光現象についての話を聞いたのは、今回が初めてだった。メカニズムがまだわからないというのが一番魅力的な部分なのだろうと思った。固定観念を捨てて、物事を考えるというのはすごく難しいと思う。生きているうちにメカニズムが解明されてほしい」、「初めて具体的な発光現象についての論文や実験をみて、まずはすごいと感じました。阪口さんという方の生々しい証言から一気に興味をひきつけられました。そして、その現象が古代から文献に記されているということを知って一層、メカニズムなどが気になってビデオなどに注目していたのですが、未だこれだという決定的な意見が存在せず、また資料の少なさや、現象の起こる回数の少なさなどから、研究が1930年から、ほとんど進歩していないという事に驚きました」、「地震の発光現象というのはあまり聞いたことがなく、迷信かなにかと思っていた。しかし、ここまでたくさんの記録があり、目撃者が多いことから、間違いないだろう。発光現象はとても不思議だ。しかしこの不思議なことがおもしろく、研究のやりがいがありそうだ。地震予知につながりそうで、研究が進んで欲しい」などの沢山の意見が寄せられた。若者が、未解明の問題に魅力を感じてくれたのをうれしく思った。

最後になりましたが、お忙しい年度末にもかかわらず、原稿のチェックをしていただいた講師や質問者の方に感謝いたします。なお、本ワークショップの計画を進めてきた、相澤さんは、3月半ばに、つくばの宇宙関係の企業に異動したので、私が編集を引き受けることになった。名大全学技術センター岡田嘉寿雄さんには、本ワークショップのビデオ収録をお願いした。海底研究グループ秘書水野貴志子さんには、原稿の編集作業をお願いした。講演者・質問者の写真は名大災害対策室林能成さんによる。上記の方々に、ここに記して感謝の意を表します。（2007年3月 名大・安藤）