

高知地学研究会会報

第30号

平成18年
5月8日発行

● 2006 年度総会のご案内 ●

マンサク、トサミヅキから始まる花の季節は、早くも桜の頃を過ぎ、藤の花房の美しい今日この頃となっております。皆さまいかがお過ごしでしょうか？

昨年度は、「地球」の来高などもあり、科学技術の海への進出を強く感じたことでしたが、今年度は、秋（9月）に地質学会が高知大学を中心にして行われることになっております。声を掛け合ってもっともっと地学に親しみましょう。

さて、下記のように2006年度総会を開催したいと思います。今回は、コメットハンターとして有名な関さんをお招きしての講演を企画いたしました。宇宙の神秘に誘う、ロマンあふれるお話が聞けることと期待しております。皆さんお誘い合わせのうえご参加ください。

また当日、今年度分の会費納入のお世話もさせていただきます。よろしくお願いします。

日時：平成18年5月14日（日）13：30～

場所：高知大学メディアの森 メディアホール（6F）

【日程】

総会 13：30 から

議題：平成17年度決算報告および監査報告

平成17年度活動報告

平成18年度役員について

平成18年度活動方針と計画

講演 14：00 から

講師：関 勉さん

演題：「ORUKI—おるき—」



< 関 勉さんプロフィール >

1930 年高知市に生まれる。

コメットハンターとして知られる日本のアマチュア天文家である。

1950 年搜索開始以来、6 個以上の彗星を発見した。中でも 1965 年の池谷関彗星が有名である。

一方、1981 年から小惑星の観測に努め、1990 年までに 223 個を発見した。

このような功績により 1987 年のフランス天文学会 100 周年記念賞など多くの受賞がある。

● 初夏の巡検（第22回地学巡検）ご案内 ●

お待たせしました。今回は青葉の良い季節に、以下のように巡検を行いたいと思います。比較的近くでのんびりと考えています（窪川や安芸等からおいでの方には遠くて申し訳ありません）。お子様・お孫さんのいらっしゃるかたはぜひお連れいただき、遠足のような巡検にいたしましょう。お昼は河原で転石を眺めながらと考えておりますので、必ずお弁当をご持参ください。雨天の場合は中止いたします。

日時：2006年6月11日（日）10：00～14：30 ごろ

巡検内容：午前 越知町「大樽の滝」の火成岩類

「大樽の滝」は日本の滝百選に指定されています。34mもの落差があり、迫力もありますが、今回は、蛇紋岩や花崗岩など、岩盤の方も観察できるところで観てみましょう。その後河原の転石で岩石の確認をしてみましょう。

午後 横倉山自然の森博物館（TEL0889-26-1060）

もう何度も足を運ばれたという方もいらっしゃると思いますが、今回は、ゆったり大勢で観覧してみませんか？新しい発見があるかもしれません。館の安井学芸員さんに、たくさん質問をしてください。きっと、やさしく説明してくださるはずです。

【集合場所】大樽の滝入り口

国道33号線を越知町に入るとすぐに桐見ダム方面へ進みます。少し行くと左手に大樽の滝上り口があります。伊野から約**25km**（約**30分**）です。

【持ってくるもの】お弁当・水筒・敷物

<横倉山自然の森博物館 入館料>

大人 500 円

高校・大学生 400 円

小・中学生 200 円

※もし、20名以上の参加があれば
団体 100 円引き

高知県大川村を襲った幻の土砂災害、山津波の正体を暴く

高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科流域圏環境科学講座 村井 政徳

高知大学理学部自然環境科学科防災科学講座 横山 俊治

I. はじめに

幻の土砂災害と呼ばれている山地災害がある。

それは、地方の方言として、おうじゃれ、蛇抜け（じゃぬけ）、山しお、猫まくり、鉄砲水、山津波といった名前で呼ばれてきた。おうじゃれは大きな「ザレ」＝崩れに由来する。蛇抜けは丸い断面をもった長い土石の流れをイメージしたもので、木曾地方でよく使われる。山しおは「山潮」、すなわち山から谷を駆け下ってくる土石の流れを海の高潮に例えた言葉である。猫まくりは群馬県の方言で、当地の主要産業であった蚕を飼うときに使うムシロを「ねこ」と呼んでいるが、土砂の流れる様子を丸めた「ねこ」に例えている。あるいは、土石の流れが「ねこ」の片方をもって上下に揺すっている様子に似ているからという説がある。このほかに、猫の手の動く様子に似ているからという説や、「根っこまくり」が訛ったものという説もある。鉄砲水は飛騨地方の方言で、突然に多量の水を含んだ土石が谷から跳び出すように流れてくる様子をイメージしている。

高知のように南海地震の来襲による津波被害が問題視されている地方では、海から押し寄せてくる津波に比較して、山から来る土石の流れを山津波と呼ぶことに現実味を感じるかもしれない。昨年発生したスマトラの大津波の映像は世界に発信され、津波とはどのような現象なのか理解が深まったはずである。では、一昨年の台風災害で山津波の理解は深まったであろうか？

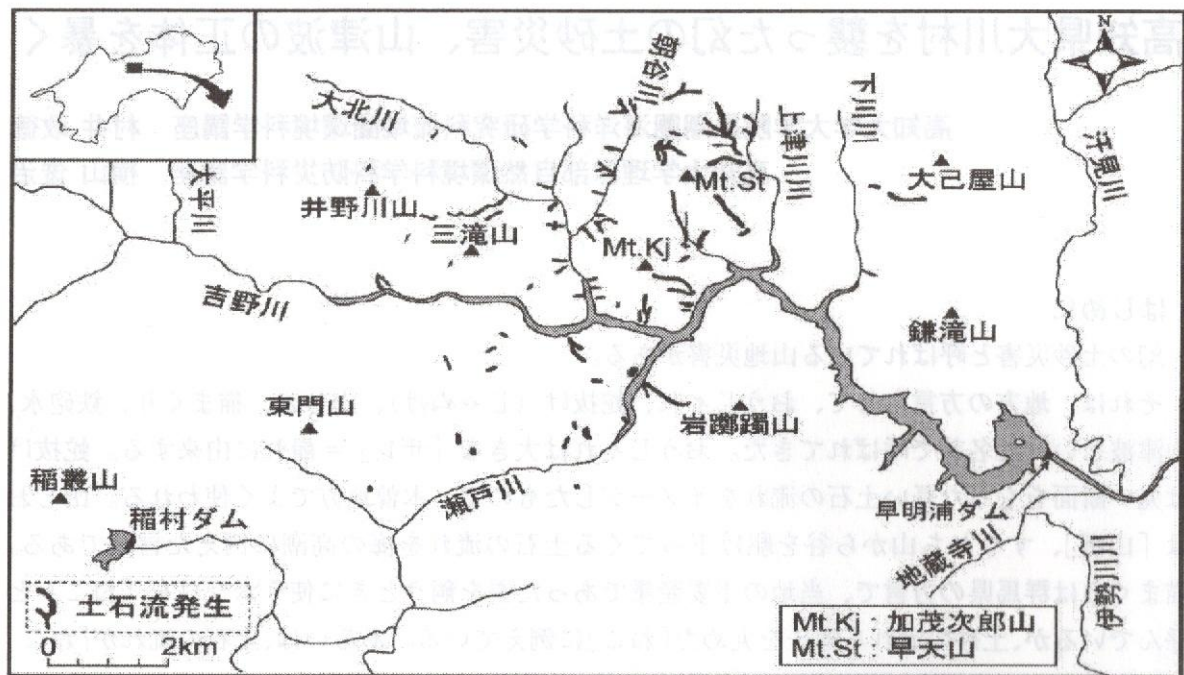
この幻の土砂災害の学術用語は土石流である。最近、土石流はマスコミによって一般社会にも定着したように思われる。土石流はもはや幻の土砂災害ではなくなったと考えている研究者もいる。しかし、そうであろうか？ いまも、土石流が発生してから停止するまでの間の、土石の流れ下る様子をリアルにイメージすることが難しいことに変わりはない。一方、最近は危険な現場から早々に避難していることが多く、土石流が目撃される機会はむしろ少なくなっている。それでも、我々は土石流の実相を正確に捉えていると言いきれないであろうか？

II. 土佐郡大川村を襲った台風 15 号による山津波

1. どのような降雨が山津波を発生させたか

2004 年 8 月 17 日から 18 日にかけて台風 0415 号（アジアネームはメーギー）からの暖湿流によって活発化した停滞前線の活動により、四国中央部付近を中心とした豪雨が発生した。高知県嶺北地方では 2004 年 8 月 17 日 0 時過ぎから雨が降りだし、同日 10 時から夕刻にかけて激しい雨を記録した。大川村役場のある小松地区では、17 日 16 時から 18 時に時間雨量 100mm を超す雨量が 2 時間も続き（2 時間で 205mm）、降り始めから 18 時までの累積雨量は 518mm に達した。山津波の発生は、時間雨量ピークを迎えるまでの 17 時～18 時にかけて集中している。

この台風による豪雨は北東南西方向に筋状にのびるのが特徴で、大川村東部と土佐町の北部にまたがる範囲で累積雨量 400mm を超え、山津波をはじめとする土砂災害が多発した。嶺北



山津波発生箇所の分布図

地方に豪雨をもたらした降雨の中心は、その後四国山地を越えて北西方向に移動し、東予および西讃でも土砂災害を発生させることになる。

2. 山津波発生地域の地形・地質

山津波は早明浦ダムのダム湖上流にあたる吉野川左岸地域と吉野川左岸側の支流瀬戸川沿いに集中している。山津波の発生数は総数 97 箇所、そのうち 72 箇所が吉野川左岸地域で発生している。

山津波の発生した地域の地質は三波川帯と呼ばれる地質構造帯に属していて、高圧・低温型の変成岩である結晶片岩が分布している。結晶片岩は片理と呼んでいる面状の岩石組織が発達していて、それに沿って板状に剥がれやすい性質をもっている岩石である。現地で見られる代表的な結晶片岩には、泥質岩起源の黒色片岩・海底玄武岩起源の緑色片岩（四国の青石）・石英主体で、しばしば赤鉄鉱や紅廉石の色で赤みを帯びた石英片岩などの岩相がある。結晶片岩の特徴のひとつに褶曲がある。ミリオーダーからメートルオーダーの様々なスケールの褶曲によって片理はぐにゃぐにゃに曲げられている。

しかし、岩相の分布を追跡して地質図を描いていくと、各岩相は東西から東南東に延び、 $20 \sim 30^\circ$ で緩やかに北に傾いた板が重なったような分布をしている。このことは、岩相の分布に調和的な片理も大局的には緩やかであることを示している。

早明浦ダム上流地域では、吉野川は大局的には西から東に流れているために、吉野川の右岸側の斜面は斜面の傾き方向と結晶片岩の片理がつくる大局的な面構造のそれとが同じ側を向く構造をもっている。このような斜面を流れ盤構造の斜面と呼んでいる。一方、吉野川の左岸側の斜面は斜面の傾き方向と結晶片岩の片理がつくる大局的な面構造のそれが正反対になる受け盤構造をもっている。吉野川の右岸側の斜面は左岸側と比べると緩傾斜で、主に黒色片岩が分布し、片理に規制されて滑動したと思われる地すべり地形が発達している。これに対して、今回の山津波が多発した吉野川の左岸側の斜面は受け盤構造であることに加え、黒色片岩の上

位に黒色片岩よりも硬い緑色片岩が分布しているために斜面勾配が急で、谷には多数の滝が連続する。山津波は多数の滝が発達する谷を流れ下ったことになる。

3. どこで山津波は発生したか

山津波は山ひだや0次谷と呼ばれている開いた凹型斜面で発生した崩壊が始まりである。山ひだの下流はだんだんと凹地が深くなり、谷（1次谷）になっていく。山津波は尾根直下の山ひだの崩壊で始まり、谷に沿って流れ下っていった。

空中写真でみると、山津波発生源となった崩壊の規模は非常に小さく、先細りになっているようにもみえることがある。そこでは崩壊が起きているかどうかはわかりにくい。崩壊現場に赴くと、崩れたのは地山の岩盤ではなく、斜面に堆積している堆積物であることがわかる。

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波発生源には、緑色片岩の長径3m程度の巨礫を大量に含む岩屑が分布し、樹齢20～30年の杉林になっている。これらの岩屑も古い山津波の堆積物である。かつての山津波堆積物の分布を明らかにすることも山津波発生場所の推定に有効である。

崩壊跡地は長さ約40m、幅約10mで、高さ1～4mの滑落崖で取り囲まれている。崩壊跡には傾いたり倒れたりしたスギが流されずに残っているほか、むき出しになった緑色片岩の巨礫も散在している。滑落崖の外側の斜面にもクラックが発達していて、クラックを跨いで伸びる樹根は弦を張りつめたかのようにピーンと張っている。樹根の緊張方向は斜面下方を向き、未だに岩屑は不安定である。

4. 小さな山崩れから山津波に成長

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波発生源の崩壊跡では、滑落崖のすぐ外側の斜面に植わっているスギに泥が付着している。泥は、樹幹の下流側の面に沿って、高いものでは根元から2mの高さまでずっと付着している。一方、上流側の面には付着していない。この泥は崩壊時に斜面から泥を含んだ水が高速で噴き出したことを示しているものと解釈している。

滑落崖には泥水が噴き出したと考えられる穴が空いている。このような穴をパイプ孔と呼んでいる。パイプ孔は数10cm程度の奥行きがある。パイプ孔の奥には周囲よりも高透水性の地盤が続いていて、豪雨時にはそこが水ミチとなって地下水が流れると考えられている。岩屑の中に地下水を集中的に流すパイプが形成されていて、そのパイプの排水量を超える地下水が一気に流れてきたときにパイプは破壊され、それが山津波の発生源になったのである。

このような泥水が勢いよく噴き出したことを示すパイプ孔の存在や泥の付着した樹幹は加茂次郎山鈴ヶ谷以外の崩壊跡地でも観察される。山津波は谷に流れ込んだ地表水の勢いで谷底の堆積物が押し流されたものではないことが明らかになった。山の斜面地下には、我々が地表では見ることができない水ミチが網目状に走っていて、山ひだは水ミチが集まってくる場所に違いない。普段の水ミチは空っぽであるが、豪雨時にはその水ミチに沿って地下水が流れ、それが山ひだに集まる。地下水をうまく排出できないと、斜面は一気に破壊・流動化して山津波のたまごが生まれる。土石と泥水が混在一体化した土石流れは谷の堆積物を削り取り、樹木をなぎ倒しながら成長し、勢いを増していく。これが山津波である。

5. 山津波の破壊力

5.1 樹木をへし折る

山津波が流れ下った谷は樹木が失われて空いているので、空中写真でも望遠目視でも、どの谷のどこからどこまで山津波が走ったかを知ることができる。谷の中央部に植わっていたはずの樹木はほとんど根から掘り起こされて下流に押し流されてしまったのか、現在は跡形もなく

失われている。しかし、径1m近くある大木が根元近くのところでへし折られているのが観察される。折れ口はかなりささくれ、ささくれたところに砂礫が挟まっている。

5.2 流木も危ない

山津波でへし折られた樹木は山津波とともに谷を流れ下っていく。土石だけでなく、流木も破壊力があって危ないのである。大川村の山津波はスギの植林地の中を流れているので、流木はスギがほとんどである。スギの高さは18～24mであるので、流木は植わっている樹木に確実に引っかかる。引っかかった樹木が一時的ではあるにせよ、谷をダムアップしたに違いない。ダムアップされたことで山津波は威力を増すであろう。流木が樹木をへし折った可能性もある。流れる過程で、流木も折れたはずである。流木に折れたものが多いのはそのためである。早明浦ダムに流れ込んだ流木の中には切断された樹木がかなりあった。山中に放置された間伐材も危険な流木になることを示している。

1999年6月の広島市の山津波や2003年7月の九州太宰府の山津波では、土石ではなく、流木が民家の二階を破壊している。また、流木は土石よりも遠くまで流れるので、洪水流中の流木も構造物を破壊する。2005年9月の台風14号では岩国の錦帯橋の橋桁を流失させた。

5.3 樹木に小石が突き刺さる

山津波の流れ下った谷では、樹木はへし折られなくともさまざまなダメージを受けている。そのひとつが小石の突き刺さり現象である。突き刺さっている小石は緑色片岩と石英が多く、その大きさは数mmから数cmで、最大56mmであった。多くの小石は樹皮が剥がれ落ちたところに突き刺さっている。また、樹幹に小石は埋め込まれていないが、小石の衝突痕と思われる穴や樹木をかすめた削り傷が残されているものがあつた。小石の突き刺さっている方向は山津波の流れの方向を示しているものと考えている。小石の多くは山津波の流下方向を示す樹木の上流側から突き刺さっている。しかし、一部の小石は谷の側面から突き刺さっている。これは谷の側面にあたって方向を変えた山津波の流れの方向を示しているのかもしれない。

小石の突き刺さり現象は樹木にとっては大きなダメージにはならないが、山津波に巻き込まれた人にとっては致命傷になるかもしれない。

5.4 巨礫を押し流す

山津波で巨礫が押し流されることは昔から知られている。山津波の先頭を巨礫群が流れている映像がある。山津波の流れの中で巨礫は上へ、上へ、そして前へ、前へと押し出される。このようにして、巨礫であっても密度の高い泥水の中では浮き上がり、押し流される。

今回の大川村の山津波でも多くの巨礫が運ばれた。いくつか紹介をしておく。瀬戸川左岸の寺谷で発生した山津波で運ばれた砂質片岩（砂岩が源岩）が最も大きく、その大きさは $8.0 \times 4.6 \times 1.5\text{m}$ で重さにして約150tあつた。折れた流木がこの巨礫の下敷きになっていた。

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波では、 $2.0 \times 2.6 \times 5.6\text{m}$ で重さ約80tの石英片岩の巨礫が流された。この谷には過去の山津波で運ばれたと考えられる緑色片岩の巨礫がある。現地ではこの巨礫をエボシ岩と呼んでいる。今回の山津波でエボシ岩は移動しなかったが、これまでの豪雨時にはいくばかりか下流に移動しているらしい（和田晴幸氏証言）。

5.5 谷底堆積物を削り取る

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波をみると、発生源の崩壊量よりも山津波堆積物の堆積量の方が多いので、谷底に堆積していた過去の山津波堆積物や谷の両側斜面から崩れてきた崖錐堆積物を山津波が削り取って自ら成長していったものと思われる。ただ、実際に削り取られた跡が残っ

ている現場が少なく、もともと谷底に地山の岩盤が露出していたところも多いので、谷のどこに堆積していた堆積物をどれくらい削り取ったかを推定することは難しい。

5.6 田畑をえぐる

谷からあふれ出て田畑を流れた山津波は激しく田畑をえぐって深い溝（ガリー）を刻んでいる。さらに、深い溝の底を流れるようになった山津波は地中に横穴を掘って削っているところもある。この例から明らかなように、土石混じりの泥水の侵食力は相当なものである。上述の谷底堆積物にはガリーも認められず、侵食の実態は不明であったが、間違いなく侵食は起きているはずである。山津波が発生した谷では、谷を横切る道路の盛土の下流側がえぐられているが、これも土石混じりの泥水の侵食によるものである。山津波の規模が小さくても盛土の先駆はしばしば起きていた。

6. 動いている山津波の素顔

6.1 土石の前を流木がゆく

山津波が流れ下った谷は、谷沿いの樹木がすっかり押し流されて黄褐色の地肌がむき出しになっているので、遠望でもはっきりとわかる。山津波が発生していなければ、樹木が茂っていて、遠望で谷筋をのぞき込むことはできない。にもかかわらず、山津波堆積物の中には流木は少ない。土石の流れの中に巻き込まれた流木は樹皮が剥がれ、幹の表面がささくれている。このささくれは土石が流木に衝突したときにできたものと思われる。豪雨が去った後、早明浦ダム湖では、流木が湖面をびっしり埋めた。これらの流木は山津波で倒され運搬されたものである。ガードレールに捕捉された流木にのしかかるように土石が堆積している例は流木が土石の前を流下したことを示す証拠である。実際、土石の前を流木が流れていくのを目撃した人もひとりいた。

6.2 滝の上から跳び出す

山津波が流下した谷には多数の滝が発達している。滝の高さは数 m から 10m を超える。山津波は滝上から勢いよく飛び出しているように見える。そのように考えるのは滝をつくっている崖に植わっている樹木や草木のダメージが小さいからである。

2004 年台風 0415 号による木沢村の山津波災害では、民家は滝の直下にありながら破壊されず、屋根の上には多数の土石が載っている。滝上から跳びだした山津波が滝の直下の民家を跳び越したものとみられる。

このような事例は、山津波は滝上から跳び出すだけの流速をもっていたことを示している。と同時に、滝から跳び出すことで、山津波は河床との摩擦によるエネルギーの損失が少なく済んだと考えている。

6.3 路面を走る

県道 17 号線だけでなく、生活道が谷を横切るところでは、道路よりも上流側の谷の勾配が緩くなり、土石の堆積が始まっている。県道 17 号線では、道路を越えて流下した山津波も早明浦ダムの湖底に達したところ（道路から湖底まで高さ約 30m くらい）か、谷の途中で停止している。しかし、上津川ではアスファルト舗装の道路路面を流れた土石は高さ 10 cm の路肩縁石を越えることなく、路面を薄く広がりながら、流れていく。

土居トンネル坑口では路面に流れた土石の跡が道路法面の擁壁やトンネルの内壁に付いている。土石跡の上面の勾配は 3°くらいで、約 70m 流れて、土石の高さが縁石の高さくらいになっている。路面にでた土石は、路面上を流れることで急激に薄くなったために、路肩から流れ

出ることが少ないのである。

6.4 山津波の流れやすさ：等価摩擦係数による評価

等価摩擦係数（標高差／崩壊・流動長）は、0.18～1.03の範囲にあり、概ね0.3～0.8を示す。2003年大分県日田市（第四紀阿蘇火砕流堆積物が分布）の流動性崩壊の0.170～0.175、花崗岩分布地域で発生した2003年大宰府崩壊・山津波の0.217～0.357、1999年広島災害の山津波の0.15～0.35に比べると大きな値を示し、他の地域の山津波より今回高知県で発生した山津波は流動性に乏しい。

6.5 二階建て民家の屋根を越えた山津波

山津波が発生した溪流には、山津波の流下に伴って生じたさまざまな流下痕跡が残っている。この流下痕跡は、1 溪岸斜面上の立木下流側に付着した泥、2 溪岸斜面上の立木に突き刺さった礫、3 溪岸斜面上に巻き上げられた溪床礫、4 溪岸斜面上の立木の根元に捕捉物であり、山津波が通過した時の水位を表している。

鈴ヶ谷での山津波が通過した水位は5m以上で、高いものでは7mにもなる。鈴ヶ谷以外の9つの溪流でも3.5mより高い水位で山津波が通過している。

6.6 オリンピック100m走ランナー並みのスピード

今回発生した山津波の流速を流下痕跡から推定した水位の高さをもとに推定してみる。位置エネルギー／運動エネルギー方程式： $U = (2gh)^{1/2}$ より算出する方法を用いて流速を求めると（ U ：山津波の流速（m/s.）、 g ：重力加速度（ $=9.8\text{m/s}^2$ ）、 h ：山津波の通過した高さ（m））、鈴ヶ谷での山津波が通過した高さは4.8～7.0mであったので、流速は9.7～11.7m/sとなる。これは時速にすると約35～42km/hに相当し、オリンピックの100m走ランナーでも山津波から逃れることは出来ないスピードである。

III. 山津波災害の被害軽減に向けて

2004年、四国には6個の台風が上陸し、崩壊、山津波、地すべり、洪水、高潮、塩害、風倒木と多種多様の災害が発生し、台風災害の総合商社の感があった。

山津波も複数の地質体で発生した。その多くは崩壊に起因しており、従来言われていたような河川流の侵食による溪床堆積物の流動化に起因した山津波はほとんど皆無であったように思われる。このことは単に降雨の監視だけで山津波の発生が予測できるものではないことを示していて、崩壊発生の予測が必要になる。それには、崩壊発生の地形・地質条件の把握が必要になる。さらに、大川村の山津波がそうであったように地中のパイプ孔の分布や形態も問題にしなければならない。山津波発生の予測は相当難しい。

2004年に四国で発生した山津波をみると、地質体ごとに、山津波発生の引き金となった降雨量や降雨強度が異なっている。このほかに、発生材料（地質）、発生規模、流れやすさの指標である等価摩擦係数が異なっている可能性もある。それらを地質ごとに整理することによっても、山津波の中期予測と防災に役立てることができよう。

長野県南木曾町伊勢小屋沢水害記念碑「悲しめる乙女像—蛇ぬけの碑—」は、個々人が兆候を捉えて山津波から身を守る術が書かれている。同じような内容は各県の防災パンフレットにも記されている。しかし、自然から離れた日常生活を送り、しかも、早期に避難していなければ、自宅に閉じこもって豪雨の通り過ぎるのをじっと待っている現代人にとって、蛇抜けの碑が自らの身を守る術になりうるか疑問である。

まずは、自分の家の建っている場所、通勤・通学路がどのような自然条件のところなのか、知っておく必要がある。国や県の作成している土石流危険渓流マップによる確認も重要である。台風 10 号で大規模な山津波を発生させた徳島県旧木沢村の阿津江、「アヅ」と「エ」は共に災害地名である。地名からも過去の災害履歴を知ることができる。高知県では良く目にする災害地名は「潰（ツエ）」のつく地名である。

そのうえで、家の近くに渓流があったら、たとえ普段は水が流れていない渓流であっても、上流まで歩いてみて個人が自分の目でチェックしてみることをお勧めする。天気の良い春の日にはハイキングを兼ねた裏山点検と渓流点検は防災意識の高揚にもなろう。地域の砂防ボランティアの方の案内があれば、なお良い。

一世代くらい前に何もなかったからといって山津波は安心できない。大川村のような高知県の山間地域は、平地と比較するとどこでも山津波の危険があるということになって、慣れっこになってしまうのも危険である。しかし、加茂次郎山の鈴ヶ谷では、道路の近くに過去の山津波堆積物が厚く堆積していて、過去に山津波が繰り返し発生していたことを示している。道路のすぐ出口のところが滝になっている渓流では山津波は飛んてくる。山間地域であっても、特別に注意すべき谷というものを抽出することはできる。今回山津波の発生した谷も要注意である。

前号より引き続き、石油の起源について中島さんの原稿を掲載します。（その 1）は、石油の掘削に関する歴史等大まかな話だったので、わかりやすかったと思いますが、今回は化学式等も出てきますし、高校化学また生物の授業を思い出しながらぼちぼち読んでみてください。まずは、有機起源説の根拠とその反証の続きからです。

石油の有機起源説と無機起源説（その 2）

財団法人 日本エネルギー経済研究所
総合戦略ユニット 主任研究員 中島敬史

3.2. 原油の生物指標

原油中には無機的な生成プロセスでは生成し得ないような複雑な高分子化合物（イソプレノイド、ステロイド、トリテルパン、ポーフィリンなど）が含まれており、「有機起源説」では、それらの高分子化合物を生物指標（バイオマーカー）と呼び、有機起源の証拠としている。例えば、生物の体内では、炭素 5 個を含むイソプレンを持つ化合物を作り出す特徴があることから、イソプレンが基本単位となっているイソプレノイド化合物（プリスタン（ $C_{19}H_{30}$ ）とファイタン（ $C_{20}H_{42}$ ））は、生物起源物質とみなされている。

しかし、海生植物である藻類や光合成細菌など動植物中の炭化水素は不飽和炭化水素が主体であり、原油の主成分である飽和炭化水素はわずかしき含まれていない。さらに原油中には、生物体内では直接合成できないアダマンタンやネオペンタンなどの炭化水素も含まれて

いる（田口、1993）。これに対して「有機起源説」では、原油中のバイオマーカーは、生物体で形成されている各種化合物の前駆物質であり、必ずしも現在の生物中に存在するわけではない、と説明されている。

バイオマーカーと位置づけられているポーフイリンは、植物が光合成を行う葉緑素（クロロフィル）に由来するが、地球外から飛来した隕石中にも見ついている。また石油中のポーフイリンは例外なくニッケルとバナジウムを持つが、生物体のポーフイリンはマグネシウムまたは鉄を持っており、それらがどのようにして完全に置換されるかは分かっていない。また原油中のプリスタンやファイタンは極めて微量であり、これらはむしろ、原油が堆積物中を通過する際に取り込まれた混合物の可能性も否定できない（T. ゴールド、1987）。

3.3. 原油の光学的活性

原油には、偏光を通過させたときに偏光面が旋回する性質（光学的活性）が知られている。一方、人工的に合成した石油は光学的活性を示さないことから「有機起源説」の根拠とされてきた。しかし、高温の地下深部に存在する天然の原油は光学的活性を示さないことがわかっており（田口、1993）、原油の光学的活性を以って「有機起源説」の証拠にはならない。

3.4. 奇数炭素優位性

現在の堆積物に含まれる炭化水素には、奇数炭素数分子の化合物が多い。これを奇数炭素優位性と呼び、CPI（Carbon Preference Index）で表す。CPI は、炭素数が 24 から 34 までのノルマルアルカン（ C_nH_{2n+2} で表される直鎖状の飽和鎖状炭化水素）について、偶数炭素数と奇数炭素数の比率を求めたものである。現生の植物は CPI=5.0（奇数炭素数化合物が多い）を示す。堆積岩中の有機物は 1.0 ～ 5.0 に散らばるが、一般に堆積物の深度が深いほど CPI が低い傾向があることから、「有機起源説」では、ケロジェンの熱分解で生成した CPI=1.0 のノルマルアルカンが深度と共に増加し、植物起源のノルマルアルカン（CPI=5.0）を希釈するためと説明されている（氏家、1989）。しかし、天然の原油は奇数炭素数と偶数炭素数が等しいため、CPI は 1.0 となる。最近では、炭酸塩岩（石灰岩などの岩石で、中近東の大規模油田の主要な油層を構成する）を油層とする原油の多くが、逆に偶数炭素優勢性（CPI<1.0）を示すことが知られており、その原因は明確ではない（田口、1993）。

3.5. 生成原油の移動と集積

根源岩で生成した石油が周囲の岩石へ移動する、いわゆる第一次移動については、水と混合したコロイド説、水に溶解した分子溶解説、油相説、フラクチャー説、ガス溶解説などがあり、未だ定説はない。しかし、その後の第二次移動は、ある程度の油滴になって浮力により移動、あるいは水圧の差異による水力流といった、単純な物理現象で説明されており、研究者間に大きな見解の差異はない。そして、付近に根源岩が無くとも、障壁さえなければ、石油は根源岩を離れて数 10 ～ 100km も側方に移動すると言われている（氏家、1989）。

著者は、油田として成立するには、単に原油の移動だけでなく“原油の濃集”が重要と考えるが、この第二次移動がそうした濃集の働きをするとは考え難い。T. ゴールド（1987）も、根源物質から遠ざかるほど、岩石中の石油の濃度は低下するのが一般的であり、根源岩と貯留

岩の間に数百倍という原油の濃集が起きなければ石油鉱床として成立せず、「有機起源説」ではその点が満足に説明されていないと主張している。

4. 石油の無機起源説

4.1. 無機起源説の始まり

地球上の既発見油ガス田は、大陸プレートの縁辺部や片方のプレートが衝上して形成された直線上の褶曲帯、大陸地殻や海洋地殻の大規模なリフト（開口割れ、地溝）、海洋の島弧や大陸上の火山弧の近傍などに沿って分布する。これらはいずれも地殻の弱線部である。これまで多くの油田は、弱線部に浸出した炭化水素の徴候を頼りに探査し、発見に至ったものである。すなわち、地殻の弱線部に沿って地下深部由来の炭化水素が上昇移動し、その結果として油田が形成されたと考えれば矛盾無く説明できる。この考え方は、130年も昔、既に1877年にロシアの化学者メンデレーエフが「石油の無機起源説」の中で解説した内容と変わらない。その卓抜した先見性に驚かされる。

4.2. 油層の垂直方向壘重現象

1959年、ロシアの地質学者N.A. クズリャツェフは、商業的規模の石油が結晶質や変成岩から成る基盤岩中に発見されていることに注目し、堆積層中の貯油構造が、その直下の基盤岩中の割れ目と関係している例が多いことを指摘し、「クズリャツェフの法則（石油地帯では、堆積物の基盤に達するまでの垂直断面のあらゆる層準にわたって、ガスや石油が壘重して胚胎する）」を確立した（図4参照）。

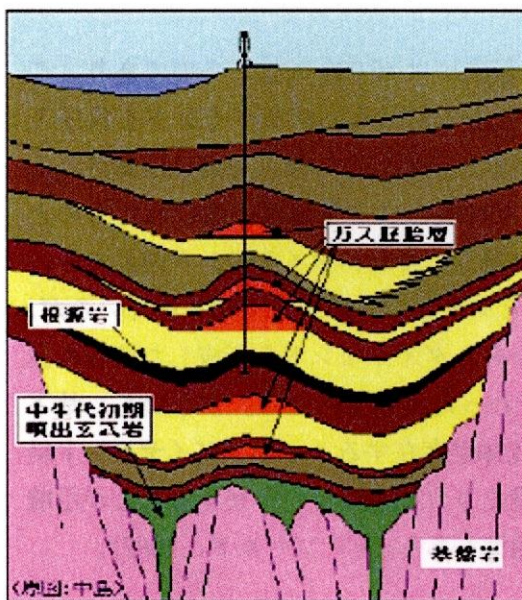


図4 天然ガス層の壘重
(出所：西シベリアのウレンゴイガス田
に関する各種記述を基に筆者作図)

クズリャツェフの法則が当てはまる例は、オクラホマ州のアナドルコ盆地、カンザス州のヒューゴトン・パンハンドルガス田（基盤岩中のガス田を含む）、ニューメキシコ州のサンファン盆地、ペルシャ湾に見られる。もし、これら垂直に壘重して分布する炭化水素が根源岩からもたらされたなら、この地域には地質時代を通じてどの時代にも根源岩が存在し、これが次々と累重していったと考えなければならない。反対に、炭化水素が地下深部から上昇移動した

なら、石油や天然ガスが垂直方向に累重して分布するのはごく当然の姿である (T. ゴールド、1987)。

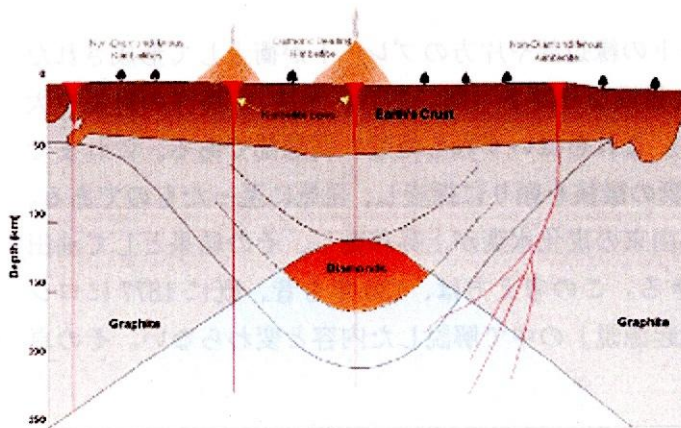


図5 ダイヤモンドを含む
キンバーライト・パイプの模式断面図
(出所: カナダ、Diavik Diamond Mine のウェブ
サイトより引用)

4.3. ダイヤモンドの生成と石油

ダイヤモンドは、そのほとんどが南アフリカやシベリア、北米、豪州、ブラジルにあるキンバーライト・パイプに濃集する。キンバーライトは、マントルの基本的な構成物であるカンラン石などで構成されており、キンバーライト・パイプは上部マントルと地表をつなぐ垂直の筒状岩体である（地表付近では直径数 100m の漏斗型を形成、図5 参照）。キンバーライト・パイプの中や周辺に溶岩はないことから、同岩体はガスを主体とするマントル物質の噴出により形成されたと推定されている (T. ゴールド、1987)。

T. ゴールド (1987) によると、ダイヤモンドの結晶形成には 45,000 気圧が必要であり、これは深度 150km 以上に相当し、温度は 1,000° C 以上となるという。ダイヤモンドを常圧下で高温にすると石墨に変わるため、ダイヤモンドの結晶構造が壊れないほど急速に冷却される必要がある。従って、地下深部から高速度で上昇するガス噴出により地表に運ばれたものと考えられ、その形跡がキンバーライトパイプであろうと言う。また、ダイヤモンド結晶の中に閉じ込められた圧縮流体（流体包有物と呼ぶ）は CO₂ とメタンであることが知られているが、CO₂ が熱分解する環境ではメタンは存在できないことから、ダイヤモンドを形成した流体の主要成分はメタンであり、その一部が熱分解で CO₂ になったと考えられる。すなわち、地下 150km 以深の地球内部（マントル）には、メタン含有流体が存在することや、ダイヤモンド結晶が成長した十分な間隙、すなわちメタン含有流体で満たされた割れ目が存在することが示唆される。それが流体を上方移動させる通路となった可能性もある。(T. ゴールド、1987)。

米国の S.B. キースと M.M. スワン (AAPG 研究会議で講演 2005) は、原油が無機的に生成された証拠として、無機物質の代表である微細なダイヤモンド粒子が、全ての原油中に 100ppm の濃度で普遍的に存在することを掲げている。原油 (C₂₆H₃₀) 中でダイヤモンドが結晶成長している様子が電子顕微鏡により観察されており、原油がダイヤモンドと同じ環境下で無機的に生成していることを示唆している。S.B. キースと M.M. スワン (2005) は、地殻深部ではダイヤモンドを形成する炭素が豊富に存在し、カンラン岩（上部マントルを構成する主要

な岩石)の蛇紋岩化作用(カンラン岩が水と反応して蛇紋岩を形成する作用)で生成した水素と反応して炭化水素を生成している、と考えており、それらが地殻深部に存在する熱水流体中に含まれて、結晶質基盤岩(花崗岩や片麻岩)中に発達した垂直方向の断裂やプレート境界を通じて熱水と共に上昇移動している、と言う。

4.4. 石油の生成実験

2004年、米国の大学や研究所が横断的な研究チームを結成し、上部マントルの温度圧力状態を実験室で再現した。ダイヤモンドセルにより閉鎖系を作り、その中に石灰岩・鉄化合物・水を入れて反応を調べたところ、炭素数6までの炭化水素($C_1 \sim C_4$ の天然ガスと $C_5 \sim C_6$ の軽質の油)が無機的に生成することが確認された。また、この生成反応式の一例として $8FeO + CaCO_3 + 2H_2O = 4Fe_2O_3 + CH_4 + CaO$ が示されている(H.P.スコット他、米国科学アカデミーPNAS、2004年9月)。

4.5. 泥火山と海底熱水噴出と石油

メタンガスの噴出により周囲の泥がコーン状に積もって形成される“泥火山”は、断層線にまたがって分布する。事実、世界の主要な泥火山分布地帯はインドネシア・ジャワ島・スマトラ島、マレー半島からアンダマン海を経て、ペルシャ湾、カスピ海バクー、黒海に跨るライン上にあり、コーカサス山脈北方とカスピ海沿岸地域の最大級の泥火山地帯は線状に延び、基盤岩に伏在する断層線に沿って泥火山が生じていることを示している。泥火山で噴出するガスには、メタンのほかに相当量のエタン、プロパンその他の炭化水素が含まれていることが多い。また水銀やヘリウムも含まれる(T.ゴールド、1987)。

また東太平洋海嶺で海底から噴出する熱水中には、炭化水素が含まれていることが知られているが、これを分析した結果、無機的な生成物であることが確認され、ネイチャー誌上に論文が掲載された(B.シェアウッド・ロワー他、Nature、2002年4月)。

さらにフランスの研究機関を主体とする海底調査の結果、世界には蛇紋岩分布地帯とメタンの高濃度アノマリーが一致する傾向を見出された。大西洋アゾレス海の海底に分布する中央海嶺では、クラックに沿って蛇紋岩が分布するが、ちょうど海底から噴き出すメタンの高濃度アノマリーと一致すると言う。またメタンは $\delta^{13}C$ 値(メタンの起源を決める手法の一つで、 ^{12}C に対する ^{13}C の割合を標準物質と比較した炭素同位体組成比。地球深部で無機的に生成されたものは ^{13}C の割合が多く $\delta^{13}C$ 値が高い)が高く、地球深部由来と推定され、蛇紋岩化作用により発生した水素による炭化水素の生成への関与が示唆される、と結論された(J.L.シャロウ他1991・1998、AAPG研究会議で講演2005)。

最近、西アフリカでは水深が1,000mを超える大水深で次々と大規模油田の発見が続いている。その発見率は50%以上であり、相当量の原油を生成している機構が存在していると考えられる。しかし、西アフリカの大水深部はもはや大陸棚斜面ではなく大洋底であり、大規模油田の下位には大陸地殻ではなく海洋地殻が分布している(F.コレドール、AAPG Bulletin 2005年6月号)。これまで油田は大陸地殻のみに存在すると言われ、海上の石油探鉱では、大陸地

殻の延長部である大陸棚に限って探鉱が行われてきた。西アフリカは、従来の石油探鉱とは様相が異なるようである。

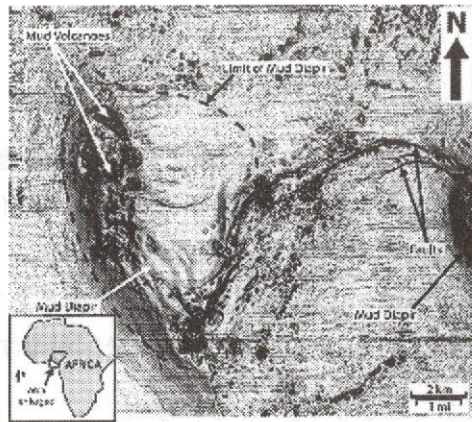


図6 西アフリカ沖の大水深部の海底に見られる泥火山
(出所：A.A.Adeogba et.al、AAPG Bulletin、May 2005, p627-643)

しかもそれら大規模油田が分布する海域の海底には、メタンガスの噴出で形成された泥火山が複数分布するほか、巨大なマッドダイアピル（地下深部から大量の泥が上昇して地層中を埋める現象）が複数分布伏在している（図6参照）（A.A. アデオーバ、AAPG Bulletin 2005年5月号）。これらは、地球深部由来のメタンガスが海洋地殻の隙間から上昇したものかも知れない。今後、泥火山と油田の関連性が重要視されることとなろう。

海底で見られる熱水噴出には大量のメタンが含まれることが知られているが、これまで、それらは周囲の堆積物中の有機物から生成されたと言われてきた。しかし今後、再検討の余地があるかも知れない。

さて、いかがでしたでしょうか？まだまだ途中ですが、今回は、ここまでにしたいと思います。次回もお楽しみに。

2005 年 12 月 11 日（日）に行われた高知地学研究会第 21 回巡検
（理科部会 2005 年度地学巡検との共催）の報告



大歩危峡にて



阿波の土柱をバックに

巡検参加の皆さまご堪能いただけましたでしょうか。

高知駅置いてけぼり事件に関しましては、深くお詫びを申し上げます。下の mail が届いたときは、ほっと胸をなで下ろしました。

「どうもお世話になりました。(^)v 楽しい巡検が出来ました。又お願いします(^)v」佐藤慎二
次回の巡検も多くのご参加をお待ちしております。

参加者の声

・先日はとても勉強になる巡検に参加させていただきありがとうございました。四国に住んでいながら、世界 3 大土柱である阿波の土柱を見たのも初めてで、自然が作り出す景観に度々感動させられた一日でした。とても楽しかったです。どうもありがとうございました。

（高知大学 井上紀子）

・中央構造線を実際に自分の目で見たことは、すごく感動しました。

私は、高知で産まれて育ったのに、初めて行った所がほとんどで、大変勉強になりました。

（高知大学 仲辻裕美）

・今回の巡検に参加して、有名な阿波の土柱や中央構造線の様子を実際に観ることができて楽しかったです。現地では、先生方が露頭の説明をしてくれて、理解を深めることができました。ありがとうございました。

（高知大学 齋藤華苗）

・11 日の巡検では大変お世話になり誠に有難うございました。12 日のプライベート巡検は行方岬の四万十帯を観察しましたが、満ち潮と強風のため行動に制約されました。しかし、高知の地質は見れば見るほど興味が募り県内をくまなく観察したいと思っています。

（筒井庸介）

まずは総会、いつもの地面から視線を上げて空を見上げてみましょう。あの彗星で有名な、関さんがお越しくださるとってもラッキーなチャンスです。会員でない方にもお声をおかけくださってご参加いただけますよう、よろしくおねがいします。

次は巡検です。越知町の横倉自然の森博物館、お出かけになった方も多いのではと思いますが、ひょっとしたらもうあまり長くは続かないかもしれないとの噂もあります。そこで、今一度、見学！との声もあり、今回企画いたしました。是非ご一緒にどうぞ！

■ 本会会員の皆さまに投稿のご協力をお願いします。総会・講演会・巡検等に参加なさった会員さんは、是非、学習成果や感想をお寄せください。

■ 編集のお手伝いをしていただける方も募集中です。学生さん如何でしょう。

■ 会員の方で mail address をお持ちの方は、上までご住所・電話番号・お名前を添えてメールください。

お詫び 会報 29 号の中で、4 ページ 1 行目および 3 行目の高知大学村井さんのお名前が間違っておりました。深くお詫び申し上げますとともに、訂正をよろしくお願いいたします。

(正) 1 行目：近藤・村井両氏にご寄稿いただきました。

3 行目：また、村井氏の大川村の……

村井さんの原稿は、今号に載せてありますのでごゆっくりお読みください。

本号は、17 年度会員および、18 年度会員の方に送らせていただきます。

総会に参加されない方は会費をお振り込みください。またその際、通信欄に何年度分なのかをご記入願います。

☆ ただいま、平成 18 年度会員の申し込みを受け付けています。会費を郵便局でお振り込みください。

前回の会報に同封してお送りしております払込取扱票(青色)をご利用ください。

口座番号	01660=8=28804	加入者名	高知地学研究会
賛助会員：一口	5,000円	正会員：2,000円	大学生院生会員：1,000円
中学高校生会員：	800円	小学生会員：	500円

■ 17 年度会員数(2006 年 3 月 31 日現在)

賛助会員	正会員	大学生院生会員	中高生会員	小学生会員	名誉会員	合計
2	50	4	1	0	2	59

発行：高知地学研究会

(川澤啓三・森岡美和)