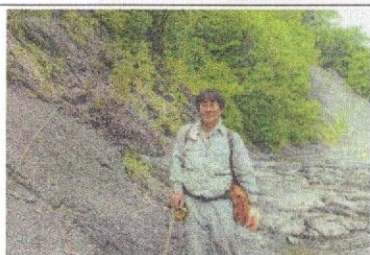


徳島恐龍巡検報告

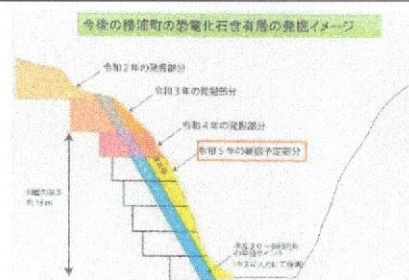
南 寿宏



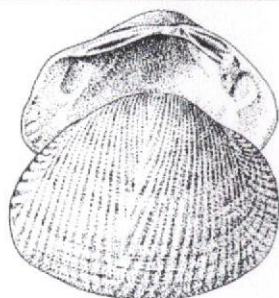
Titanosaurus 歯化石



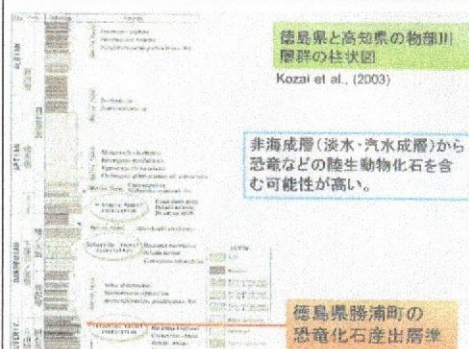
徳島県立博物館 辻野泰之学芸員



今後の発掘イメージ



Trigonioides (Wakinoa) tetoriensis Maeda
田代ほか(1993)による



物部川層群地質柱状図

快晴下の2023年(令和5年)12月9日～10日、多数の参加者のもと、本会第49回地学巡検が行われた。今回の巡検の目玉は2つある。1つは徳島県勝浦町で発見された恐龍化石のクリーニング現場の訪問であり、もう1つは徳島県三好市から高知県大豊町にかけての地すべり地帯の観察である。引用された図は記述がないものは本巡検ガイドブックによる。

本稿は現地説明に重点を置くため、道中の様子については簡潔に述べるに留めるので、ご了承を願う。

バスは、いの町を8:00に出発後、高知駅前で途中乗車の5名を拾い、10:30過ぎに徳島市文化の森の新装なった徳島県立博物館に到着、早い昼食後、館内展示の恐龍化石を観察する。案内者の辻野泰之同館学芸専門員は勝浦町で化石クリーニングに専念しているため、館内の自由観覧となる。

14:00前、勝浦町内の勝浦かんきつテラスに到着、休止中の温室に仮設されたクリーニング場に行き、辻野先生の説明を受ける。辻野先生はアンモナイトが専門だが、1994年に最初の恐龍化石が高知大学大学院生によって発見されたときは同大学学生としてその場を体験している。その後京都大学大学院を経て同館に勤務、勝浦町恐龍発掘の陣頭指揮をしている、恐龍研究のスペシャリストである。

恐龍化石の発掘現場は非公開とされており、見学できなかったが、化石クリーニングは勝浦かんきつテラス内の空いている温室で、冬から春にかけてボランティア数名で行われている。そのボランティアの中には、2016年に22年ぶりに恐龍化石を発見した化石愛好家T氏の姿もあった。

発掘は当初は人力によるものであったが、2019年以降は重機を入れてボーンベッドを広く露出させ、化石が含まれているような岩石を餞別・搬送するという方法が採られている。発掘は毎年秋～冬に行われるが、現場は下位ほど岩盤が硬く、収集できる岩砕量は年々減っているそうである。

勝浦かんきつテラスで実際にクリーニング作業を行っているボランティアの方の話では、1日に数個の化石が発見されるというが、辻野先生の手にかかると発見の数が違うという。現在勝浦町で発見されている恐龍化石は24点であり、今後、新たな発見が期待される。

勝浦町で恐龍化石発見のきっかけになったのが淡水産二枚貝化石トリゴニオイデス(Trigonioides)で、この化石が出れば、そこから恐龍化石が出ることが期待される。巡検当日も新たなトリゴニオイデスが見つかっており、皆で観察したことだった。

トリゴニオイデスの含まれている地層は物部川層群立川層といい、この地層は高知県南国インター周辺の領石層に相当しているので、高知県で発見されるとすれば同地であろうということである。領石でこのトリゴニオイデスが発見されると、高知県初の恐龍化石発見は近い。

初日の巡検終了後、宿泊地の徳島市内のホテルに向かう。2日目の巡検地が三好市山城町および大豊町豊永なので、阿波池田駅周辺など、もっと現地に近いホテルで宿泊する方が効率的なのだが、covid19 感染対策で参加者全員にシングルルームを確保するため、徳島市内宿泊とした。

翌10日8:00、徳島市内のホテルを出発。

この日の研修内容は、次の3つである。

- ① 四国山地の構造と地すべりとの関係
(三好市川口地区)
- ② 大歩危含礫片岩の起源と生成過程
(三好市大歩危地区)
- ③ 巨大地すべりの災害と対策
(大豊町豊永地区)

9:30 阿波池田駅で、2日目の講師の京都大学防災研究所山崎新太郎准教授と三好ジオパーク地質専門員殿谷梓博士と合流する。殿谷専門員は、山崎先生の指導のもと、2024年に三好ジオパークの日本ジオパーク認定に向けて活動している。また、同地から、長野県内のあるジオパーク関係者3名が視察で同行する。

その3名と殿谷、南は自家用車2台でバスを追う。

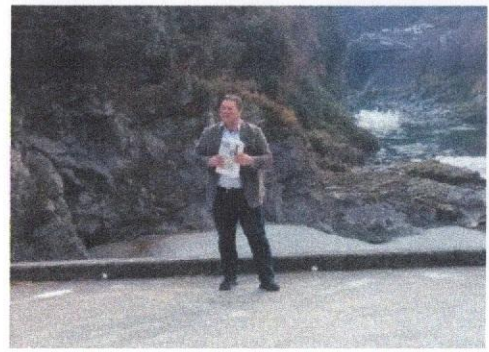
- ① 四国山地の構造と地すべりとの関係

講師と合流後、一行は阿波川口駅近くの観察地に急ぐ。観察地は吉野川左岸(西岸)の阿波川口駅の下の駐車場である。駐車場から南を望む。1945年10月3日、阿波川口・小歩危間で地すべりが発生し、土讃線の線路が流された。このあたりは地質が泥質片岩であり、かつ構造が逆目盤なので、地すべりが起こりやすい。そこで国はその区間にトンネルを掘り、地すべりをまると避けるように線路を付け替えたのである。トンネルは地盤の比較的良好な苦鉄質片岩地帯(右下地質図)を直線通っているの、時間短縮効果が大きい。

地質構造と地表面の関係で崩壊・地すべりが起こりやすいかは、右図を参照してほしい。逆目盤は最悪の『×』となっている。

砂質片岩地帯では、地すべりが比較的起こりにくい。土讃線・国道32号とも、覆道・落石止柵・防止網、あるいは落石検知装置を設置して、落石に備えている。小歩危・大歩危間が景勝地で、結晶片岩が続く景観を車窓からも観光遊覧船からも楽しむことができるのは、同区間が主に砂質片岩だからである。大歩危駅の北に砂質片岩と泥質片岩の地層境界があることは、次項で述べる。

泥質片岩地帯では、線路の多くがトンネルに付け替えられている。そのような箇所は、大歩危トンネル(大歩危駅南)、大杉トンネル(大杉駅南)、大豊トンネル(土佐北川駅北)など複数ある。



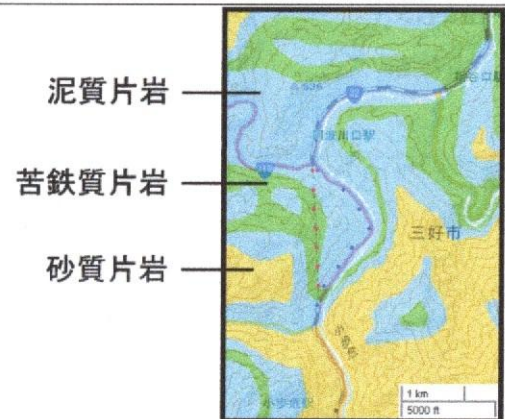
京都大学 山崎新太郎准教授
(阿波川口駅下の駐車場)



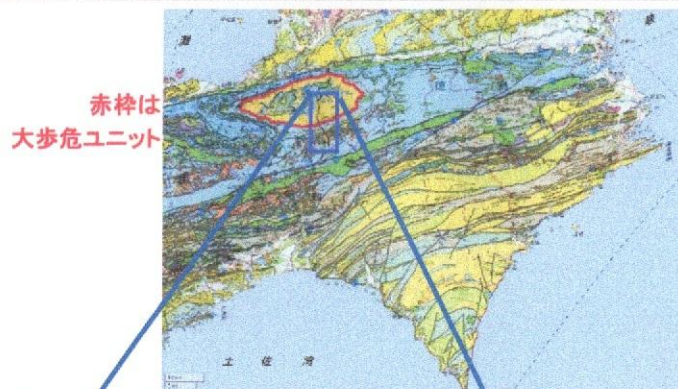
1945年10月に発生した地すべり
阿波川口～小歩危間



地質構造と崩壊・地すべりの関係



阿波川口・小歩危間の地質図
(産総研シームレス地質図を編集)
線路が泥質片岩地帯から苦鉄質片岩地帯に付け
替えられている
青点線が旧線・赤点線が新線トンネル



大歩危ユニット



緑

K122-Pg12_msoma_hc
変成岩
形成時代
中生代 前期白亜紀 アルビアン期～新
生代 古第三紀 始新世 セランディア
ン期
岩相
高圧片岩
変成作用
高P/T型広域変成岩 緑泥石層

砂

K122-Pg12_msapa_hc
変成岩
形成時代
中生代 前期白亜紀 アルビアン期～新
生代 古第三紀 始新世 セランディア
ン期
岩相
砂質片岩
変成作用
高P/T型広域変成岩 緑泥石層

礫

K122-Pg12_msogp_hc
変成岩
形成時代
中生代 前期白亜紀 アルビアン期～新
生代 古第三紀 始新世 セランディア
ン期
岩相
礫質片岩
変成作用
高P/T型広域変成岩 緑泥石層

泥

K122-Pg12_msape_hc
変成岩
形成時代
中生代 前期白亜紀 アルビアン期～新
生代 古第三紀 始新世 セランディア
ン期
岩相
泥質片岩
変成作用
高P/T型広域変成岩 緑泥石層

珪

K122-Pg12_maesi_hc
変成岩
形成時代
中生代 前期白亜紀 アルビアン期～新
生代 古第三紀 始新世 セランディア
ン期
岩相
珪質片岩
変成作用
高P/T型広域変成岩 緑泥石層

東四国地質図および大歩危附近拡大(産総研シームレス地質図を編集)
 緑は苦鉄質(緑色)片岩 砂は砂質片岩 礫は礫質片岩 泥は泥質片岩 珪は珪質片岩
 ドライブインまんなかと大歩危駅間の地層境界(赤実線)以北が大歩危ユニット

② 大歩危含礫片岩の起源と生成過程

四国の三波川帯は、別子エクログャイト相ユニット、白滝ユニット、大歩危—中七番ユニットおよび御荷鉢ユニットの4つの構造ユニットに区分される(原ほか(2018))。大歩危—中七番ユニットは徳島県側の大歩危ユニットと愛媛県側の中七番ユニットに分かれている。なお、大歩危駅がユニット外だからだろうか、大歩危ユニットを小歩危ユニットと称する研究者もいる(野田ほか(2021))。両者が同一機関からの発表であり、発表年も近く、なおかつ著者が重複しているにも関わらず、地質体の名称が異なっているのは面白い。本稿では大歩危ユニットの名称を使う。

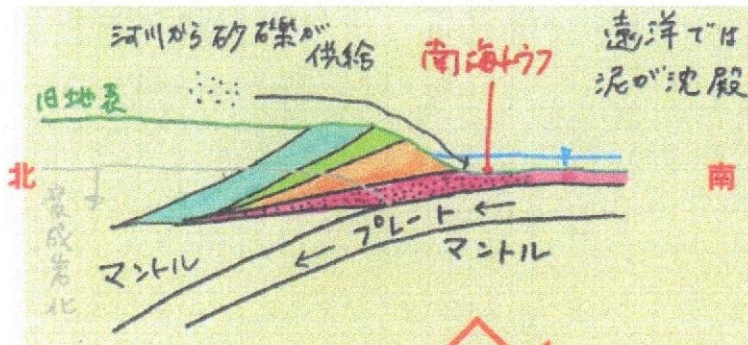
前ページ上図の四国東部の地質図で、赤実線で囲まれている範囲が確認できるだろうか。この範囲が大歩危ユニットである。大歩危ユニットは、白滝ユニットに包まれる。

右上図露頭は、『ドライブインまんなか』の200mほど南の対岸である。左が大歩危ユニットの砂質泥岩、右が白滝ユニットの泥質片岩である。左側砂質片岩体が強固なのに対して、右側泥質片岩が崩壊していることに注意。この両者の硬さの違いが地すべり対策にはとても重要である。

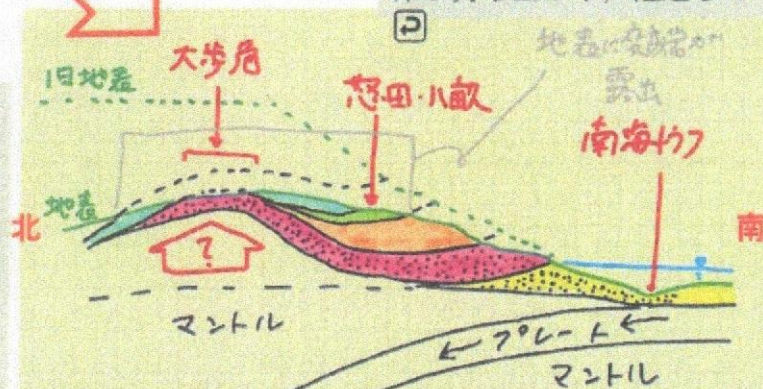
ドライブインまんなかに行く。前ページ地質図に示されるように、ここには礫質片岩(上図説明では含礫片岩)岩体がレンズ状に分布する。

この礫の起源については、諸説あるようである。真部ほか(1996)は、「大歩危珪長質火山岩礫の起源は、その礫種構成とジルコンのU-Pb年代から、内帯白亜紀中期の珪長質火山—深成岩類に求めることができる」という。一方、山崎先生の現地での説明では、大歩危結晶片岩中の礫と一致するものが、遠く離れた南側の四万十帯日和佐累層で産出するという。

山崎先生の現地での説明図を下に載せる。



④ 部分が侵食で削られてしまった結果、南北の付加の順番が見かけ上逆転したというものです。隆起の原因には四国山地の直下に巨大なマグマの塊があり、それが上昇してきているという考えなどがありますが、詳しくは不明です。



含礫片岩の礫と一致するものが、離れて南側の四万十帯でも産出することでもこの考えが支持されています



砂質片岩と泥質片岩の境界



大歩危含礫片岩
(ドライブインまんなか)

山崎先生の考えは、次のとおりである。

- ① 四国の下に、海洋プレートが逆断層的に付加された。
 - ② これらは、通常の地層累重(地層は下部ほど古い)とは逆に、下部ほど新しい。
 - ③ 地下 15~30 km では高圧変成作用が起き、岩石は結晶片岩となった。
 - ④ あるとき、現在の三好市付近で、土地の上昇が起こった。
 - ⑤ 上昇した部分は、上部が侵食削剥され、下部の結晶片岩が露出した。
 - ⑥ この露出した地層は、徳島県東部の日和佐累層と一致する。
- ④の結晶片岩上昇の原因には諸説ある。

従来の説は、結晶片岩の密度が周囲の岩体の密度よりも小さく、浮力によって浮き上がったという。しかし、三好市付近で深いところからマグマが上昇してきたことが原因であるという説もある(p.9 下図)。この部分が大步危ユニット (p.8 上図)か。

では、この上昇が起こったのはいつ頃だろうか。

四国内には、室戸、足摺、吾北、石鎚、屋島等、1,500 万年前の火成岩体が多くある。この1,500 万年前とは、日本海拡大が起こった、まさにその時期であり、全国的にも東日本各地のグリーンタフとか、栃木の犬伏石とかが関係するのだが、今回の三好市付近の上昇現象をその日本海拡大と同一視してよいのかどうかは、議論の余地がある。

なお、上の山崎先生の説は、君波(2022)に詳しい。

真部ほかについては、'日本地質学会学術大会講演要旨 真部由華'で google 検索をかけると、閲覧できるので、本稿での引用は避ける。

徳島巡検は続いて、高知県大豊町豊永地区の地すべり地帯の観察に移ったが、そちらの報告は別機会に譲る。途中、道が狭くて貸し切りバスが通行不能になり、地すべりに設置されている監視装置を見学できたのは自家用車で同行していた5名のみというハプニングがあったことを記しておく。

今回の地学巡検は、高知県教育研究会との共催で行われた。同会の幹事として本巡検の計画立案、指導者および博物館・旅行業者等との交渉等、巡検のマネジメントを完璧に行っていただいた高知県立岡豊高等学校谷内康浩教諭に感謝する。

巡検費用の一部はこの数年にわたって、高知県教育研究会より補助をいただいていたが、今回は高知地質学会からも補助を行ったことを報告する。数年ぶりということで、いささか奮発していることをご容赦願う。詳細は編集後記をご覧ください。

文献

- 原 英俊・青矢睦月・野田 篤・田辺 晋・山崎 徹・大野哲二・駒澤正夫(2018): 20 万分の 1 地質図幅「高知」説明書 産総研地質調査総合センター
- 君波和雄(2022): 三波川変成岩類の上昇:メカニズムとプロセス 総合地質 Vol.6 no.1 p13-33
- 真部由華・吉倉紳一・Janet Gabites(1996): 大步危礫質片岩中の珪長質火成岩礫のジルコン U-Pb 年代(変成岩) 日本地質学会学術講演要旨 Vol.103 p.300
- 野田 篤・宮崎一博・水野清秀・長田充弘(2021): 5 万分の 1 地質図幅「池田」説明書 産総研地質調査総合センター
- 田代正之・奥平耕右(1993): 四国白亜系から Trigonioides 化石 (非海生二枚貝)の産出とその意義 島根大学地質学 研究報告 Vol.12 p.1-9

徳島恐龍巡検報告・2

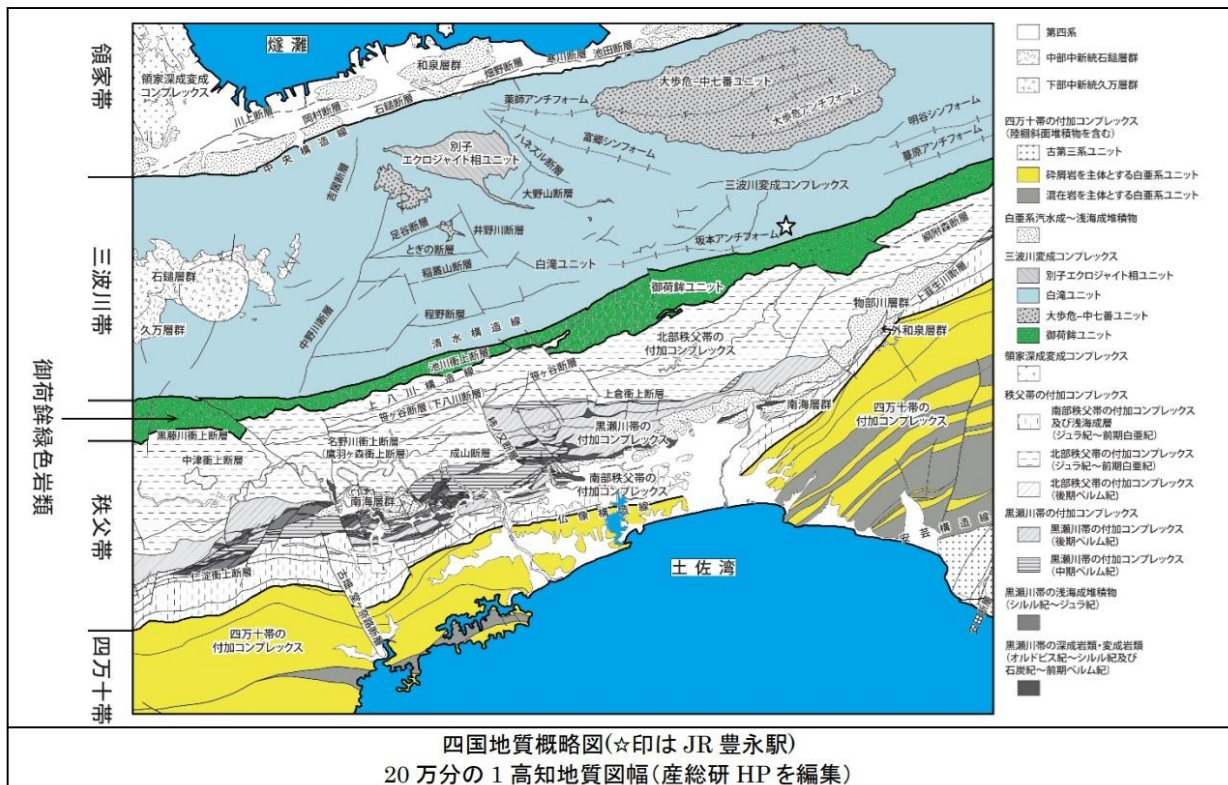
南 寿宏

令和5年12月9日(土)から10日(日)にかけて、高知地学研究会第49回地学巡検が徳島県徳島市・勝浦町・三好市山城町および高知県大豊町で行われました。徳島県の分は、本会会報第65号で報告しましたので、本号ではその後の高知県分を報告します。

案内の山崎新太郎京都大学防災研究所准教授は、当地の地すべり対策を調査・研究されています。

1 四国の地質帯区分

四国の地質帯は北から、領家帯、三波川帯、秩父帯および四万十帯の4つに区分される。本報告の大豊町豊永周辺は三波川帯に含まれ、高圧変成作用を受けた結晶片岩が特徴である。三波川帯と秩父帯の境界には、玄武岩・斑れい岩等の苦鉄質岩中の有色鉱物が緑色の鉱物に変わった緑色岩が分布しており、小藤文次郎(東京帝国大学教授, 1856-1935)により、群馬県御荷鉾(みかぼ)山にちなんで御荷鉾(みかぼ)緑色岩と命名されている。

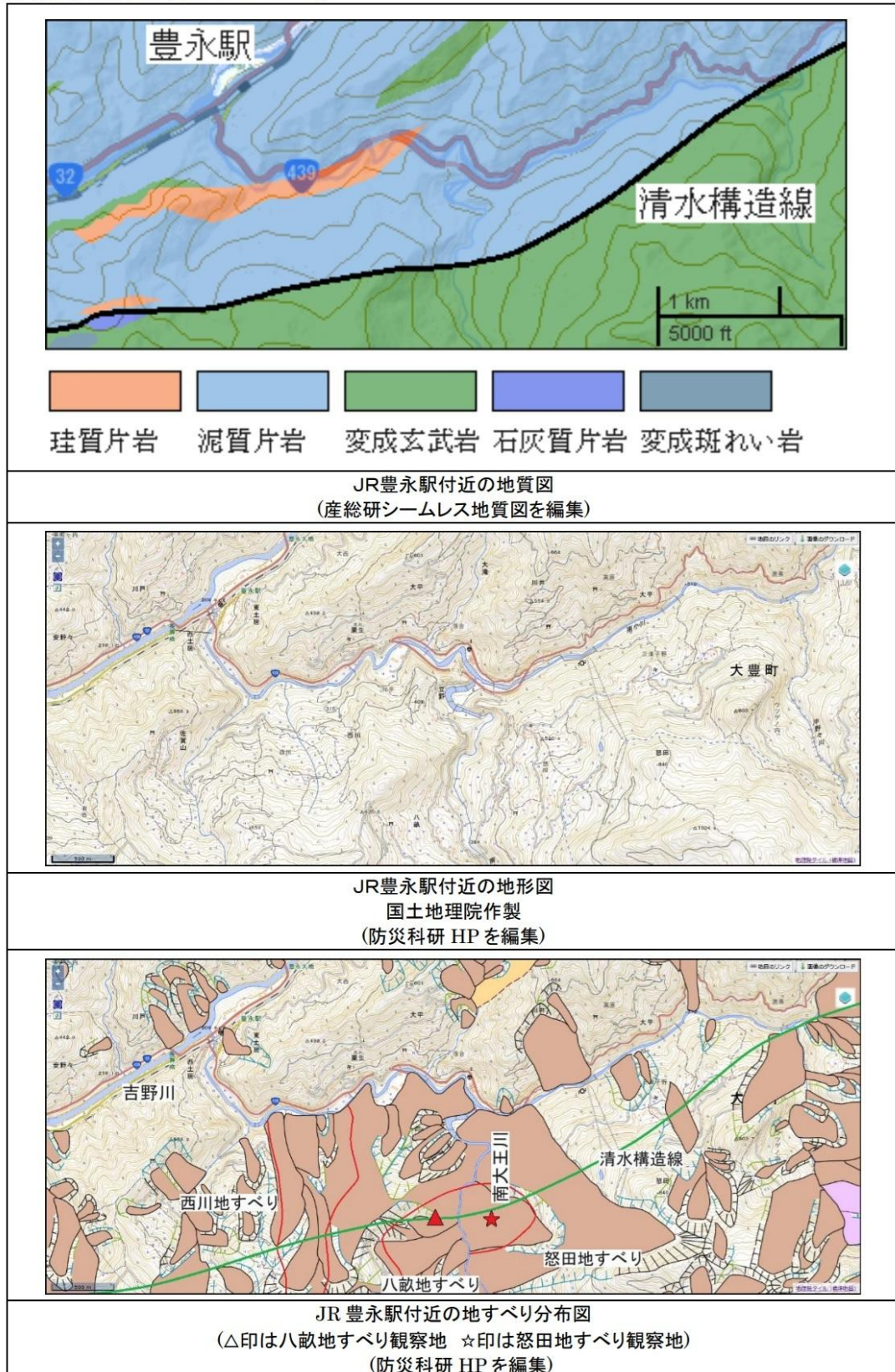


2 大豊町豊永付近の地質

大豊町 JR 豊永駅の南 3 km には、清水構造線と呼ばれる地質境界があり、その南には御荷鉾緑色岩が分布する。この岩石には強い剥離性があり、地すべりが多発する。

清水構造帯(キヨミズコウゾウタイ) Kiyomizu tectonic zone
四国の三波川帯プロパーの南縁に沿って東西にのびる構造帯。強い剥離性をもった泥質片岩(フィロナイト)からなる。南側は御荷鉾緑色岩または秩父北帯ジュラ紀付加体と接する。高知県吾川郡清水村(現、吾北村)において小島文児ほか(1956)が命名。高知県では幅 1 km。徳島・愛媛の両県では三波川帯プロパーと御荷鉾緑色岩類の境界断層に相当。
[清水大吉郎・栗本史雄, 地学団体研究会編 新版地学事典]
御荷鉾緑色岩類(ミカブリヨクショクガンレイ) Mikabu greenstones
西南日本外帯の三波川変成帯と秩父帯北部との境界に帯状に分布する。低変成度の苦鉄質および超苦鉄質岩類。苦鉄質岩の原岩は、斑れい岩・ドレライト・玄武岩・玄武岩質火山性砕屑岩からなり、超苦鉄質岩は蛇紋岩化されたかんらん岩・輝岩・角閃石岩からなる。火山性砕屑岩には、少量のチャートが伴われていることが多い。一般に火成岩類は塊状で、片岩化しているものは少ない。玄武岩質岩は、化学組成に基づいて、ソライト質・アルカリ岩質・ピクライト質に分けられる。最近、御荷鉾緑色岩類は、ジュラ紀後期～白亜紀前期の海底火山活動の産物であると考えられている。
[榊原正幸・岩崎正夫, 地学団体研究会編 新版地学事典]

下図は上から順に、JR 豊永駅周辺の地質図、地形図、地すべり分布図である。地質図は産総研シームレス地質図、地形図は国土地理院 25,000 分の 1 地形図、地すべり分布図は防災科学技術研究所(防災科研)HP による。



本稿では、清水構造線の南の八畝(ようね)地区および怒田(ぬた)地区の地すべり対策について紹介する。八畝地区は吉野川水系南大王川の左岸、怒田地区は南大王川の右岸である。

3 土地利用と岩質

清水構造線の北には泥質片岩、南には変成玄武岩が分布する。この変成玄武岩が前述の御荷鉾緑色岩類である。この両地域の土地利用については、岩質が大きく関連している。そのことを、山崎准教授の巡検ガイドブックより引用する。

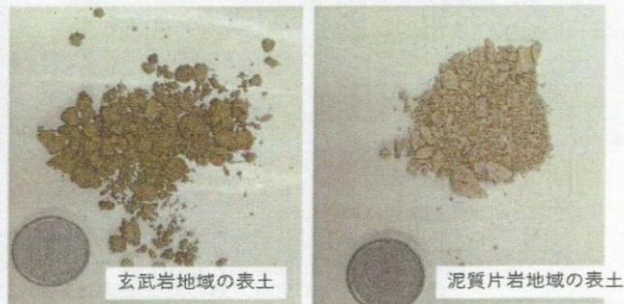


地すべりと土地利用

八畝地すべりは、実は複数の地すべりの集まりです。八畝地すべりを見ると、大部分は玄武岩（一部塩基性片岩）の地質で発生した地すべりですが、北側には泥質片岩で発生した地すべりもあります。両地域に亘って人が居住し土地利用がされていますが、興味深いことに気づきます。これまで泥質片岩の地すべり地は水田耕作には不向きだと話してきましたが、八畝の南側の地すべり地や怒田地すべりの地すべり地内では、水田耕作がされています。先ほど、玄武岩の風化物は粘土鉱物を含んでいると話しました。ここに水田耕作が可能な秘密があります。玄武岩の風化物は、この粘土鉱物を含むことによって保水性が良く、また粒子も細かいので、岩盤の割れ目に詰まって水が下方に浸透しないのです。このため水を張ることができ、水田耕作が可能になっています。



下はいずれも湿らせた後、2時間程度室内で放置した風化土



4 地すべり対策

(1) 地すべり地帯の内部構造

地すべりとは、山間部に降った大雨等が原因で、土砂や岩石が原形を保ちながら、地下のすべり面を境界としてゆっくりと斜面をすべり落ちる現象である。

硬い地盤は透水性が低く、また、すべり面の上には未固結の土砂が堆積し、凹地のために地下水がたまることがある。未固結の土砂は2次的にすべり落ちる危険性があるが、その上に家屋があり、また田畑に利用されているので、土砂をすべて取り除くことは実用的でない。したがって、2次の地すべりを防ぐ対策が必要である。

受験メモ

土石流…土砂や岩石が混じり合い、**高速**で斜面を崩れ落ちる現象

地すべり…土砂や岩石が原形を保ち、**ゆっくり**と斜面をすべり落ちる現象

(2) 地すべりの観測

地すべりの観測には次のものがあり、観測はリアルタイムで行われている。

- ① 地すべり変動監視システム(GPS)
- ② 地盤伸縮計
- ③ 地下水位(集水井)
- ④ 気象観測システム(雨量計)

地すべりの動きは現在も活発で、年間 10cm 以上の移動が見られる。

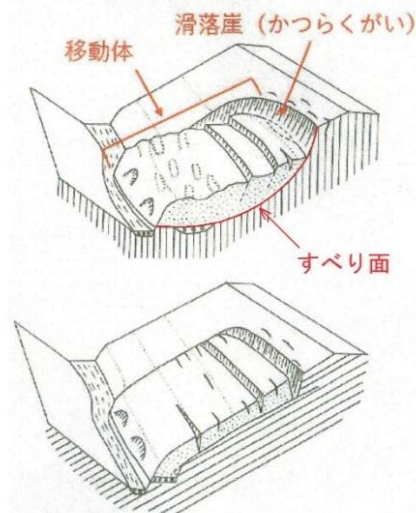
① 地すべり変動監視システム(GPS)

GPS は、全地球測位システム(global positioning system)の略称であり、高度 20,000km を周回している 30 個以上の GPS 衛星のうち 4 個の衛星からの電波を受信して位置(緯度・経度・高度)を高精度で計測するシステムである。

GPS は元々、アメリカ軍の軍事プロジェクトであり、世界の軍事情勢によってその精度が大きく変化することがあり、時には誤差が数十 m になる。

かつて滋賀県に住んでいたとき、琵琶湖畔を運転することがあったが、そのときわが車はよく、琵琶湖内を走る水陸両用車になっていた。

地すべり地形の模式図と名称



熊本ほか、
技術者のための地形学入門から江川、1982の図

地すべり地形
山崎新太郎「野外巡検ガイドブック」を編集



衛星測位システムを利用した
地すべり変動監視システム
(怒田地すべり)

地すべり変動監視システム(GPS)
(怒田地すべり)

ケプラーの法則 計算問題

気象衛星は赤道上空 35,800km を周回し、24 時間で地球を一周する。この衛星の公転周期は地球の自転周期と同じなので、地球からはいつも同じ位置に見え、静止衛星と呼ばれる。一方 GPS 衛星は静止衛星よりも少し低い軌道を周回し、12 時間で地球を一周する。GPS 衛星の高度をケプラーの第3法則を使い、計算で求めよ。

ただし、地球の赤道半径を 6,370km とし、 $4 = 1.59^3$ とする。

ケプラーの第3法則

$$\frac{a^3}{T^2} = \text{一定} \quad (a: \text{公転軌道半径} \quad T: \text{公転周期})$$

GPS 衛星が上空 χ km を周回しているものとする。

$$\frac{(6370 + 35800)^3}{24^2} = \frac{(6370 + \chi)^3}{12^2}$$

$$\chi = (6370 + 35800) \div 1.59 - 6370$$

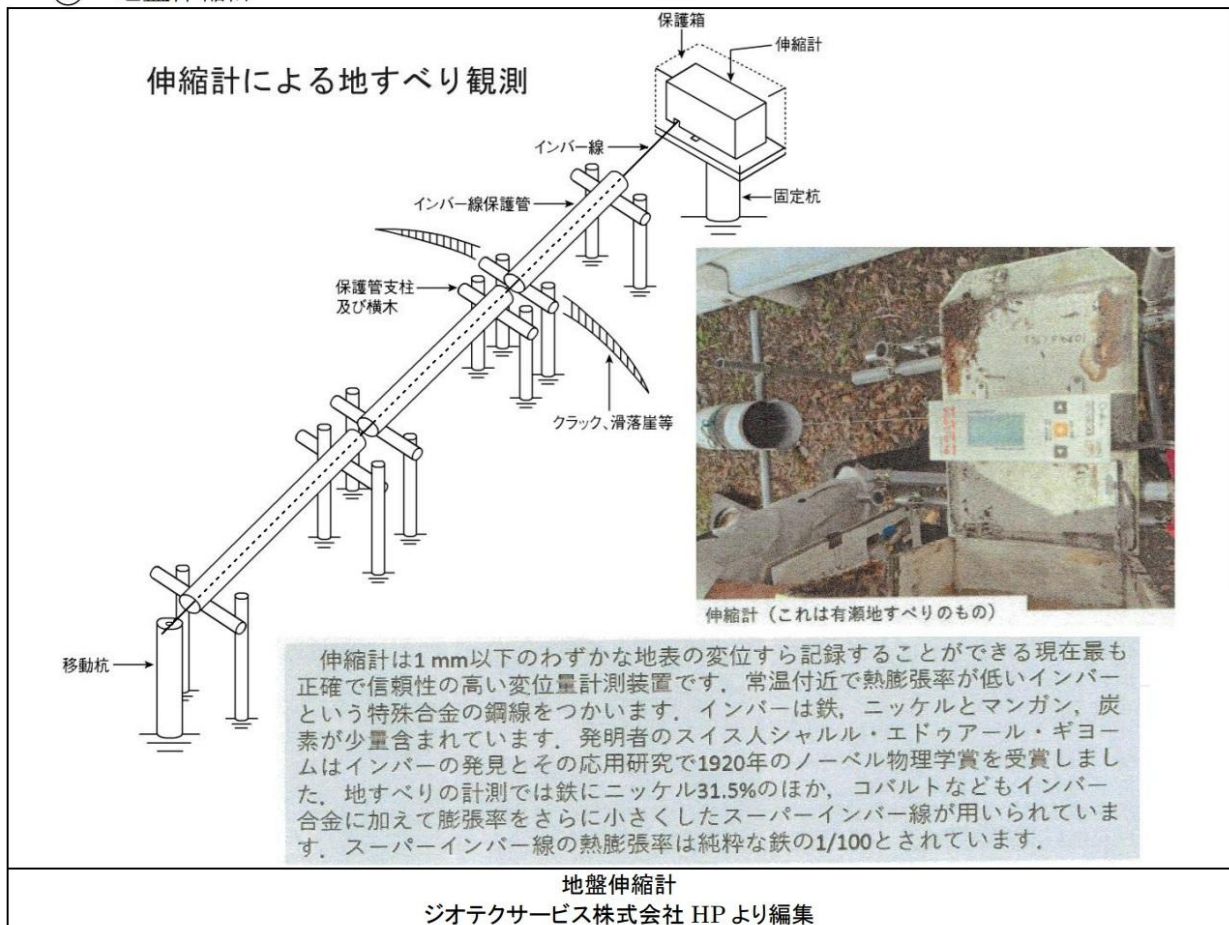
$$\frac{(6370 + 35800)^3}{(6370 + \chi)^3} = 2^2 = 4$$

$$= 20200$$

$$\frac{6370 + 35800}{6370 + \chi} = 4^{1/3} = 1.59$$

$$20200(\text{km})$$

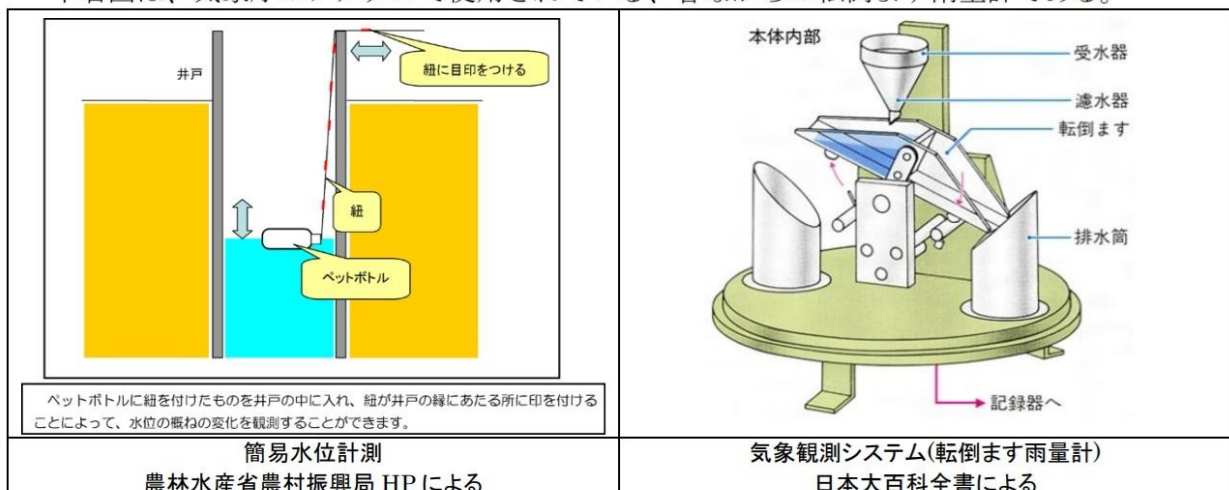
② 地盤伸縮計



③④ 地下水位・雨量測定(水位計および雨量計)

地すべり調査における地下水位調査は、地すべりの誘因となる地下水の状況、および特性を把握するものであり、地すべりの安定解析、対策工の検討において重要な調査である(西村ほか(1997))。水位は降水量によって決まるため、雨量計による降水量の測定が同時に求められる。

水位計は、新たにボーリング孔を掘り、中に水圧もしくは水位を検知する機具を設置する方法が一般に行われている。下左図は、既設の井戸を利用する簡易計測手法である。また、下右図は、気象庁のアメダスで使用されている、昔ながらの転倒ます雨量計である。



(3) 地すべり対策

地すべり対策の抜本的対策は、すべり落ちた未固結の土砂をすべて除去することであるが、前述したように、それは実用的でなく、不可能である。そこで、2次的地すべりを防ぐための工事を、下図を元に説明する。

① アンカー工

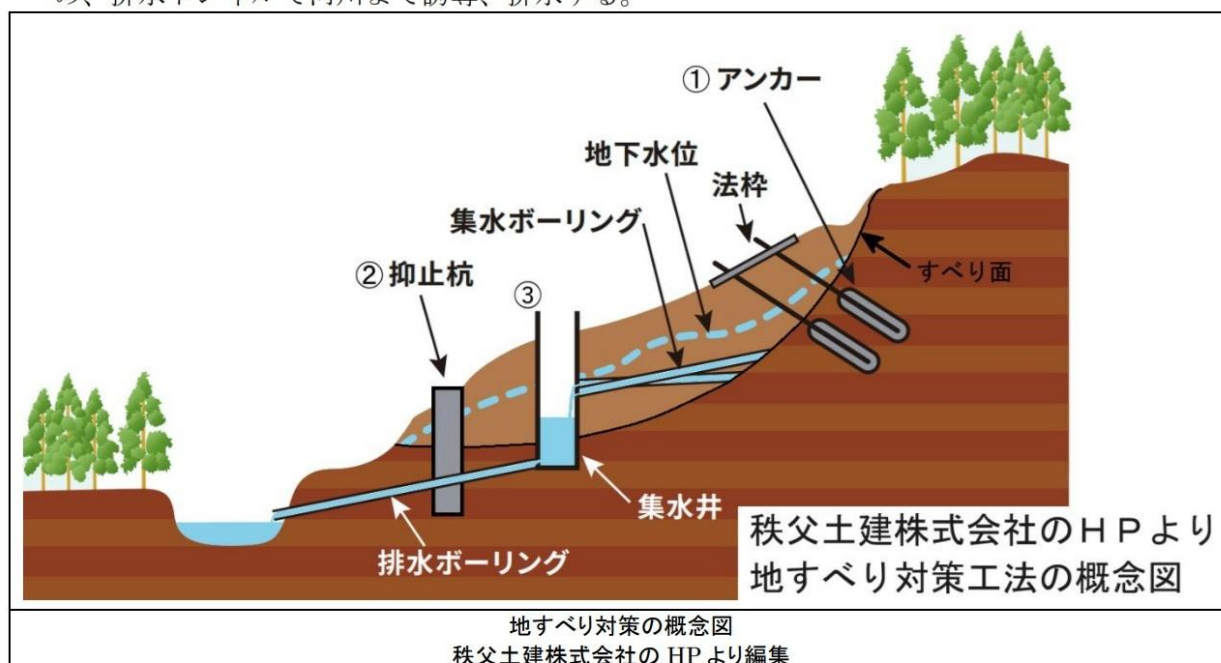
地表にコンクリートの枠を設置し(法枠(のりわく))、すべり面の下の動かない岩盤に埋め込んだアンカーとワイヤーで結び付ける。

② 杭工

杭をすべり面の下の岩盤まで打ち込み(抑止杭)、土砂の滑落を防ぐ。

③ 集水井工

滑落エリアに多数の井戸を掘り(集水井)、すべり面の上および下の地下水を集水井に集め、排水トンネルで河川まで誘導、排水する。



京都大学は1966年11月、徳島県三好郡池田町(現三好市池田町)に防災研究所地すべり研究部門の一部として徳島地すべり観測所を設置した。設置の際に、徳島県により敷地と建物が寄付され、以来2-3名体制で運営されている。

当施設での観測・研究結果は三好市、大豊町等の地方自治体の地すべり対策に生かされ、防災に大きく貢献している。

当施設には多くの学生、研究者が在籍し、巣立った研究者は、全国の大学で教授、研究機関の長、関係学会の長などを務めている。また当施設は、高知大学など四国内外の学生、研究者を受け入れ、現地学習会を開いている。

三好市はジオパーク活動を展開しており、そのスーパーバイザーが山崎新太郎先生であることを付記し、本稿を終える。