

地学

小惑星 155140 (2005UD) の測光観測

兵庫県立三田祥雲館高等学校 科学部天文班

2 年 池添太智 宮崎瑛輔 鈴木文也
米谷和真 田中沙和 谷神杏歌
芦田結菜 伊藤杏佳 野村拓馬
1 年 山下夏帆 仲涼介 大西眞子
重成柊真 太田陸 上西彩斗

1 動機および目的

ふたご座流星群の母天体である小惑星 (3200) Phaethon は「枯れた彗星核」と考えられている。2005 年に発見された 155140 (2005UD) は軌道の類似性から Phaethon の分裂核である可能性が指摘されている。さらに両天体ともに表面の不均質性が指摘されており表面の色を調べることによって、2 天体の関連性を探ることができる。

本校天文班は 2017 年 11 月 25 日 - 12 月 20 日の小惑星 (3200) Phaethon の地球接近の際、Phaethon の自転周期、色指数を求めた。Phaethon に続き 2018 年 10 月、2005UD が回帰し 15 等まで明るくなり観測の好機となったため、多色測光と連続測光に挑戦することにした。表面の不均質性を調査するため、自転に伴う色指数の時間変化を捉えることが大きな狙いである。

2 観測概要

(1) 観測機材

望遠鏡	口径	F 値	視野	カメラ※
60cm 望遠鏡	600mm	12	11.6' × 11.6'	SBIG STL1001E
なゆた望遠鏡	2000mm	12	10.9' × 10.9'	MINT

※冷却 CCD カメラの冷却温度は -30 度

(2) 観測日時、観測方法など

望遠鏡	Date&Time (UT)	フィルター及び画像	露出時間	観測	天候
60cm 望遠鏡	10/6 17:18-19:56	V 308枚	30秒	連続	晴れ時々曇り
なゆた望遠鏡	10/6 14:41-19:24	V 22枚 R 8枚 I 7枚 B 6枚	60秒	多色	晴れ時々曇り

(3) 使用したフィルターと撮像方法

B, R, I, および V バンドで撮像は V, B, V, R, V, I, V, B, V, R という順番で、VBVRVI を 1 セットとし、小惑星と標準星を交互に撮像した。

3 解析

雲がかかり正確なカウント値が分からない画像データを除き、残りの 166 枚の画像について次の手順で解析を行った。

(1) 画処理ソフト Makali`i を用いてアパーチャ一測光を行った。連続測光は 60 cm 望遠鏡、多色測光はなゆた望遠鏡で行った。使用した標準星カタログは表①である。連続測光では同一視野の 2~4 個の星を標準星にした。多色測光では Landolt 標準星より PG0231 の星を標準星にした。表②

表① 使用した標準星カタログ

解析	標準星カタログ	個数	高度補正
連続測光	USNO-A2.0	2~4個	○
多色測光	Landolt標準星カタログ	6個	○

表② 多色測光に使用した標準星とその等級

Star	V	B-V	V-R	R-I	V-I
PG0231+051E	13.804	0.677	0.390	0.369	0.757
PG0231+051D	14.027	1.088	0.675	0.586	1.256
PG0231+051A	12.772	0.710	0.405	0.394	0.799
PG0231+051C	13.702	0.671	0.399	0.385	0.783
PG0231+051	16.105	-0.329	-0.162	-0.371	-0.534
PG0231+051B	14.735	1.448	0.954	0.998	1.951

(2) 得られたカウント数を基にポグソンの式によって小惑星の等級 (m) を求めた。

$$m = n - 2.5 \log_{10} \left(\frac{I_m}{I_n} \right)$$

m : 求めたい星の等級 n : 標準星の等級

I_m : 求めたい星のカウント値

I_n : 標準星のカウント値

4 結果

(1) 連続測光

60 cm 望遠鏡で V バンドを使用して撮影した画像の解析を行い、横軸をユリウス日、縦軸を等級として散布図を作成した。(図 1)

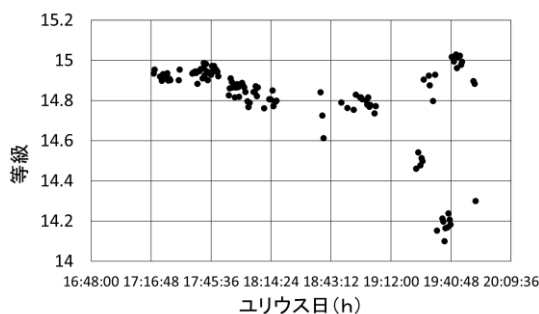


図 1 連続測光による等級の変化

(2) 多色測光

なゆた望遠鏡で B、I、V、R バンドを使用して撮影した画像の解析を行い、それぞれの撮影した時間帯、色指数ごとにまとめ、横軸を世界時、縦軸を等級として散布図を作成した。（図 2）

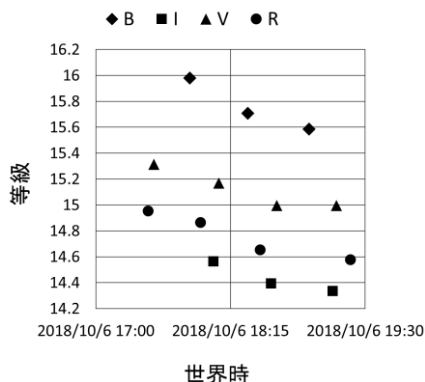


図 2 多色測光による等級の変化

(3) 色指数

横軸は世界時、縦軸は B-V、V-R の色指数で散布図を作成した。（図 3）さらにそれぞれの値の平均を求め、2005UD の色指数とした。

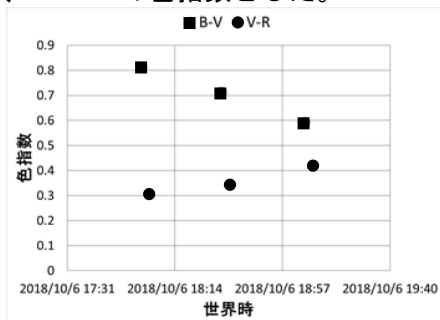


図 3 色指数の変化

今回の研究で求めた色指数が以下の通りである。
2005UD B-V=0.640 V-R=0.357

5 考察

天候不良のため撮影時間が 2 時間程度になったので、必要なデータが足りず、連続測光による自転周期の算出はできなかった。

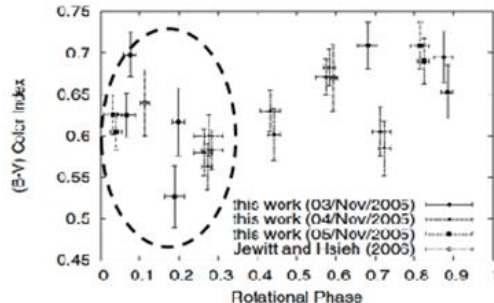
図 3 より色指数が変化する様子がわかる。また図 2 から各バンド間に一定の変化が見られる。それらのことから表面の色が均一ではないことがわかる。この結果は色指数が B、F 型小惑星に近い。

B、F 型小惑星の色指数			
B 型	B-V=0.635	V-R=0.361	
F 型	B-V=0.645	V-R=0.366	

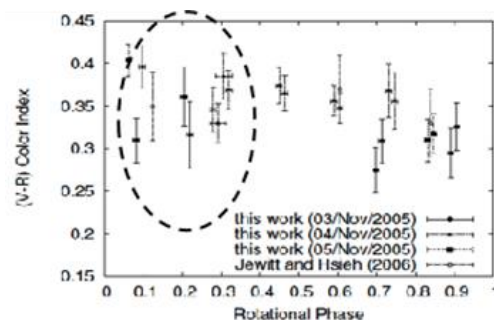
これまでの研究の結果から Phaethon も同じく色指数が B、F 型小惑星に近いことが分かっている。これらの観点から 2005UD は Phaethon の分裂天体である可能性が高いことが分かった。

6 まとめ

図 4, 5 は Kinoshita et. al, が 2005 年の観測で求めた色指数（図 4 の○印 B-V、図 5 の○印 V-R）の変化である。私たちが観測より求めた色指数の変化（図 3）は点線で囲った部分と類似している。即ち B-V が減少傾向で、V-R が増加傾向を示している。2005UD の表面の色の一部を求められた可能性が高い。



(図 4) B-V の色指数の変化 (Kinoshita et. Al 2005)



(図 5) V-R の色指数の変化 (Kinoshita et. Al 2005)

7 今後の課題

今回、2005UD の自転周期を求めることはできなかったが、測光観測、画像解析をとおして 2005UD の色指数を求めることができた。そこから 2005UD が Phaethon の分裂天体である可能性が高いということが分かった。次回はこの研究結果の正確性、信頼性を高めるために、より多くの画像解析を行い、2005UD の自転周期を求めたい。

8 謝辞

本研究を進めるにあたり兵庫県立大学西はりま天文台 高橋隼先生、兵庫県立洲本高校 谷川智康先生にご指導を頂いた。

9 参考文献

鈴木文二・洞口俊博著. (2015) あなたもできるデジカメ天文学 恒星社厚生閣.
Astro-HS 編 (2004) 彗星観測ハンドブック 2004. Yoshida et al. Observation campaign of (3200) Phaethon and (155140) 2005UD in 2017–2018. Jet Propulsion Laboratory. Small Body data base <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>
Kinoshita, D., et al., (2007) Astronomy and Astrophysics. 466. 1153.

地学

東播磨における喜瀬川・新川池の形成史解明 ～新川池における池干し実施期間の 考察に向けて～

加古川東高等学校自然科学部地学班

2年 高橋侑希 田畑陽彩 林晃太郎

1年 井上絢音 竹山悠斗 真野航輔 山野莉緒

1. 研究の経緯

ため池では水質改善や土壌換気のために水を抜く「池干し」がみられる。しかし、池干しは水を抜く手間や時間が多くかかる。そこで、池干しをおこなう最適な期間を算出し、効率化を図れないかと考えた。加古川市内にはこの池干しを一年に一回行っている新川池があり、この池を研究対象とし実証することを考えている。この研究過程において新川池付近の地形に特異な点を感じ、以下の目的で研究をおこなった。

2. 動機・目的

新川池は、喜瀬川の中流に形成された「川池」であり、上流より水が流れ込み、下流へそのまま排出する形態をとっている。しかし、この新川池は海岸段丘の開析谷中に位置しており、新川池の付近で喜瀬川はこの段丘面を横切っている。そのため、現在の地形が単純な作用で形成されたとは考えにくい。そこで、現在の喜瀬川流域の地形を調べ、どのような過程を経て現在の地形となったのか、その形成史を解明することを目的とした。

3. 地域概観

喜瀬川は兵庫県南部稲美町長法池に源を発し、天満大池の南をかすめて南西流し、播磨町で播磨灘に注ぐ 8.38 km の二級河川である。



図1 新川池付近の現在の地形図

4. 仮説

「天満大池より上流の喜瀬川はかつて北西に向きをかえ、曇川と合流していた。現在の喜瀬川は人為的要因によってつくられた」とする仮説を立てた。

5. 検証

[1] 地質図・河床縦断面図の検証

地質図の現世層の分布をみると喜瀬川上流部は北東から流れて北西の曇川に向って広がっている。次に形成史解明の手掛かりを得るため、喜瀬川の河床縦断面図を作成した(図3)。海岸からの

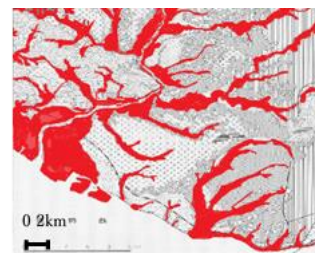


図2 現世層の分布¹⁾
(黒色は現世層である)

距離 4300m に新川池、6000m に天満大池が存在している。この図に喜瀬川下流部の段丘面、曇川上流の谷底平野標高を描き加えた(以後この谷底を旧曇川と呼ぶ)。

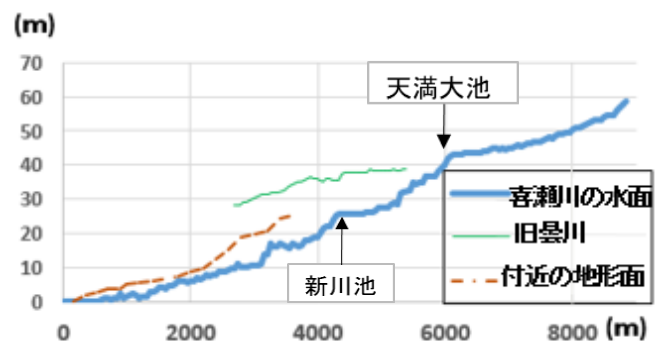


図3 喜瀬川の河床縦断面図

(1/25000 国土基本図, 地理院地図標高データより作成)

この図をみると喜瀬川は天満大池の直下に遷急点があることが分かる。また新川池より下流では段丘面との比高が大きく、喜瀬川は下刻していると考えられる。これに対し旧曇川の断面図は喜瀬川上流部と整合的につながる。

[2] 古地図などによる検証

(i) 古文書によると 675 年に天満大池の元となる岡大池が築造される。

(ii) 1666 年の絵図面「蛸草大池」によると今の天満大池の大きさになっていた(図4)。この頃では既に南西方向に流れていたことが分かる。

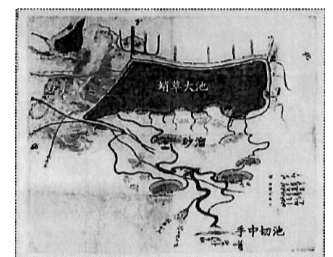


図4 1666 年絵図面
「蛸草大池」²⁾

(iii)図5から分かるように川は天満大池の中を流れている。



図5 1900 年前後の新川池付近の水系

(iv)図6を参照すると天満大池の南西側に河原山池が築造されており、さらにその南西方向に内ヶ池が確認できる。

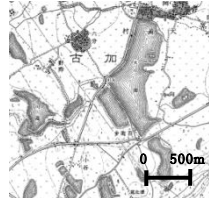


図6 1923 年の地形図

(v)図7を参照すると、内ヶ池は埋め立てられており、河道は内ヶ池があった位置の南側を流れていた。

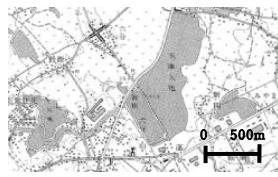


図7 1967 年の地形図

(vi) 1980 年前後には図8から分かるように川は天満大池から分かれている。



図8 現在の水系図

[3] 阿久根台風による浸水状況からの検証

1945 年に長法池が決壊したことをきっかけに、喜瀬川流域で氾濫が発生した。この浸水状況図³⁾から分かるように、すでに喜瀬川はたとえ決壊しても旧曇川方向に流れることはなく、南西方向へ河道が固定されたことを示唆している。

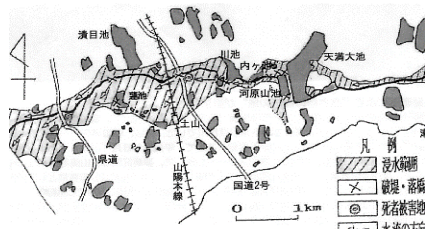


図9 阿久根台風による浸水状況³⁾

6. 喜瀬川の形成史

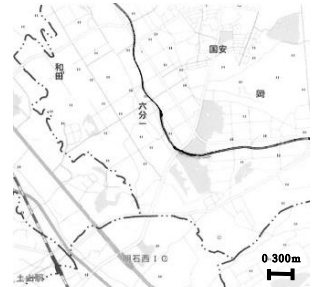
これまでの検証から形成史を考察する。

- I 675 年以前に旧曇川は北東方向から現天満大池付近で向きを変え北西方向に流れていた。
- II 675 年、現天満大池の前身となる池が築造された。

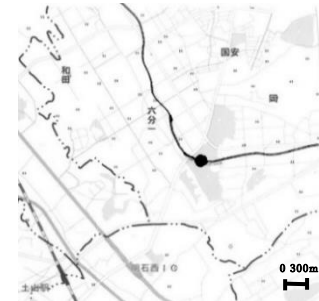
III 1666 年頃までには天満大池は現在の大きさになっていた。II・IIIの間に天満大池からの排水は北西方向から南西方向へ変わり、天満大池より除水として喜瀬川が開削された。その結果旧曇川は途切れた。

IV 1923 年までには天満大池の南西側に河原山池、内ヶ池が築造されていた。

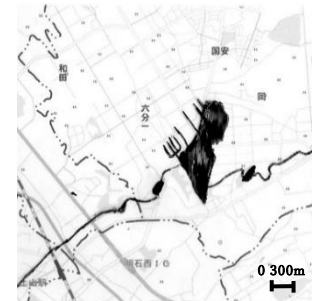
V 1967 年には内ヶ池がなくなり、1つの河川となった。天満大池を経由しなくなり、現在の喜瀬川が成立した。



I 675 年より前



II 675 年 岡大池築造



III 1666 年

図10 喜瀬川の形成過程の復原図 (IV以降は省略)

7. まとめと今後の展望

喜瀬川は古代には存在せず、上流は曇川へ排水していた。江戸時代には天満大池以南のみが喜瀬川といえる。現在の形態になったのは20世紀以降だと考えられる。喜瀬川は各流路を繋げてできた人工的な河川である。

私たちは「ため池における池干しの実施期間」について新川池を研究対象としており、その研究の一環として、新川池形成史の解明に向けた調査を行った。今後はこの研究を踏まえてさらに地球化学的要素を深めて研究を進めていきたい。

また、天満大池の西側に草谷断層が通っている。この活断層が、今回の喜瀬川・新川池形成に影響しているかについては今後の課題としたい。

参考文献

注1)加古川市(1989):加古川市史1巻, p582

注2)いなみ野ため池ミュージアム資料

注3)内田和子(2003):日本のため池防災と環境保全, 海青社, 270p

(地学)

東条湖の神戸層群の比較
～岩石の特徴から見る凝灰岩層の違い～

兵庫県立西脇高等学校 地学部
2 年 伊藤大翔、荻野幹太 北口龍河、小林裕和
田中陽来、富田直希
1 年 市部美咲、岡田滉生、岡野麻里、菅野祐輔

1. 動機及び目的

様々な植物化石が採取できる神戸層群は古くから研究が盛んに行われてきたが、近年、露頭が減少し十分に研究が行えなくなっている。

この現状に危機を覚えた筆者らが所属する西脇高校地学部化石班は、神戸層群がもつ地学的観点からみた重要さや実用性を、自分たちの研究を通して様々な人たちに知ってもらいたいと思い、神戸層群の研究をおこなうことにした。そこで、神戸層群研究会の方々に話を聞いたところ、三田地域という空白地帯の存在が明らかになった。

三田地域の研究の先駆けとなるためにもまずは特定の地域を調べるのが適切だと考え、東条湖の柱状図を作成することを目的に本研究を始めた。

2. 方法

神戸層群には 14 枚の凝灰岩が堆積しており、それらは下部から S1～S14 と呼称されている（宮津、1997）。今回は S1～S7 までの各層準ごとの凝灰岩をサンプルとして神戸層群研究会の方々に提供していただいた。

また、それぞれの凝灰岩は採取できる植物化石や岩石の様子が異なるため、本研究と関係のある S1～S7 までの特徴を簡略化して表にまとめた（表 1）。

	主な植物化石	備考
S1	コンプトニア	灰色。
S2	マクリントキア・ハス・(ブナ)	白色。化石が密集していない。
S3	ヌマミズギ・セコイア	白色、灰色。化石が密集している。
S4	特に見られない	砂質部あり。植物化石なし。
S5	ピロウ・(ブナ)	白色。触ると白い粉がつく。
S6	オオガフタバマツ・(ブナ)	白色。
S7	ポプラ	灰色。砂粒を含むことがある。

表 1 各層の凝灰岩の主な特徴

東条湖では計 8 つの地点で岩石を採取しており、それらを P1～P8 と呼称している。

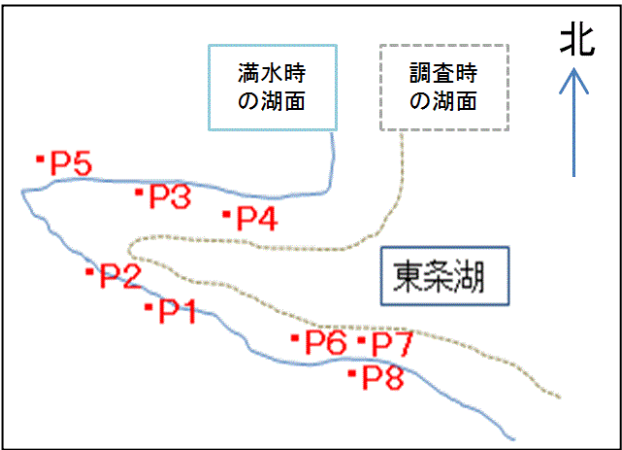


図 1 P1～P8 地点

それらと神戸層群に堆積している凝灰岩の特徴を比較することで、東条湖にみられる凝灰岩を同定することができる。

比較する方法は以下の通りである。

① 岩石に含まれる鉱物

肉眼で観察するのみでは得られた結果の信憑性が足りない。そこで、各層によって含まれる鉱物にも違いがみられるのではないかと考え、岩石の薄片を作成し、含まれる鉱物の大きさを 10 個ずつ測定した。

② 植物化石

神戸層群の凝灰岩では各層準ごとにみられる主な植物化石に違いがある。この違いは凝灰岩の層準を同定するための大きな手掛かりとなる。そこで、東条湖にて植物化石を採取し同定を試みた。なお、同定の際には葉の縁の形、葉脈の広がり方などに注目した。メタセコイア (*Metasequoia glyptostroboides*) やトクサ (*Equisetum hyemale*) などは、多くの層準からも発見されるので、その場合は岩相を加味して考えた。

③ 各層準ごとの岩石の特徴

肉眼でみられる岩石の特徴にも各層準ごとに違いがみられるものがある。例えば、外見が類似してい

るS2とS3では化石の密集度が異なるため、どちらかの判断がつかない場合は化石の密集度によって層準を判定した。こういった外見的特徴も東条湖凝灰岩と比較することで同定の判断材料となる。

3. 結果と考察

東条湖の露頭調査では、60 個以上の岩石を採取し、そのうちの多数が植物化石の葉を含んでいた。だが、ほとんどの化石は、同定の手掛かりになる葉の蜜腺や先端部が欠けており、②は困難であった。

一方、調査した地点の中でも上部に位置する P7 地点では明瞭な植物化石はみられなかったものの、ほかの地点と比較しても化石の密集度が高く(図2)、採取された岩石の一部に薄い砂質部がみられた。また、P7 地点の上部に位置する P8 地点は化石が採取できず、凝灰岩は砂岩質であった。



図2 植物化石の密集度が高い凝灰岩 (P7 地点)



図3 東条湖沿岸 P7 地点、P8 地点

また、方法①を用いて岩石に含まれる鉱物の大きさを測り各地点毎に比較したところ、P7 地点の鉱物

の大きさが他の地点と比べてかなり大きいことが分かった。

一方、S3 層の特徴として化石の密集度が高く、薄い砂質部がみられる。また、方法①より岩石に含まれる鉱物の大きさを測定し S1～S7 までの鉱物の大きさを比較した結果、S3 のみはかなり大きかった。

植物化石の密集度、砂質部がみられる点、鉱物の大きさなどから推測すると、P7 地点の層準は S3 にあたると考えられる。また、化石が採取できない点や P7 との位置関係を考慮すると、P8 地点の層準は S4 にあたると考えられる。

4. 課題

今回明らかになった東条湖の凝灰岩の詳細や発見された植物化石は、本来の目的であった東条湖の柱状図を作成する大きな手掛かりになる。今後は最優先でこの課題に取り組み、神戸層群の研究への大きな足掛かりにしていく。また、本研究では東条湖を含めた数か所の凝灰岩で研究を行ってきたが、この量の判断材料では確実性に欠け、研究の正確さに疑問が残るところである。本研究で得た結論をより確固たるものにするためにも、さらに多くの地域の凝灰岩についても研究を進めていきたいと考えている。

また、護岸工事や地方の開発は神戸層群の有益な露頭を失ってしまうものの、地域の発展や住民の安全のためには必ず欠かせないものである。地域の安全、発展と神戸層群の維持を両立できる道を見つけ出し、自然とともに歩む社会を目指していく方法を現在も検討中である。

参考文献

- 1) 宮津時夫他, “神戸層群の凝灰岩層(白川地域)”, 地学研究, 第46巻, 第1号 (1997年)
- 2) 堀治三郎, “神戸層群産植物化石集”, 日本地学会館, 293p (1987年)
- 3) 宮津時夫, “神戸層群の植物化石について”, 日本地学会, 10P (1998 年)

地学

迫る大津波！～地形からみた福良の防災

兵庫県立淡路三原高等学校 自然科学部地学班

2 年 村本直也、土井康佑、山口泰知、

秦一心、阿萬野龍馬

1 年 長尾郁和、池田竜陸、豊田桜太

1. 動機及び目的

南海トラフを震源とする巨大地震は今後、30 年以内に起こるといわれている。その時、地震に伴って巨大津波も発生する可能性がある。私たちの住む淡路島の福良町では、大きな被害が予想されている。そこで過去の地震や津波、現在の地形などの観点から地域性を踏まえて避難経路や避難場所は適切に設定されているのか検証した。

2. 南海トラフ地震についての基本情報

南海トラフとは四国の南側の海底にある水深 4000m の深い溝のことである。プレートテクトニクスの考えによれば、南海トラフはフィリピン海プレートとユーラシアプレートによる収束する境界の一つである。

過去の南海地震(1600 年以降)

1605 年 慶長地震 M7.9

1707 年 宝永地震 M8.4

1854 年 安政南海地震 M8.4

1946 年 昭和南海地震 M8.0

例えば、1707 年の宝永地震のように駿河湾から四国沖の広い範囲で同時に地震が発生したり、1944 年の昭和東南海地震から2年後に発生した 1946 年の昭和南海地震のように、その時間差にも幅があります。

3. 解析① ～地震の発生時期を予測～

南海トラフを震源とする地震における地震時隆起の累積と発生時期に関係があることを知った。そこからプレート間に溜まった力は地震ごとに開放さ

れると考え、過去の南海トラフでの地震における累積マグニチュードと発生時期の関係を図1にまとめた。

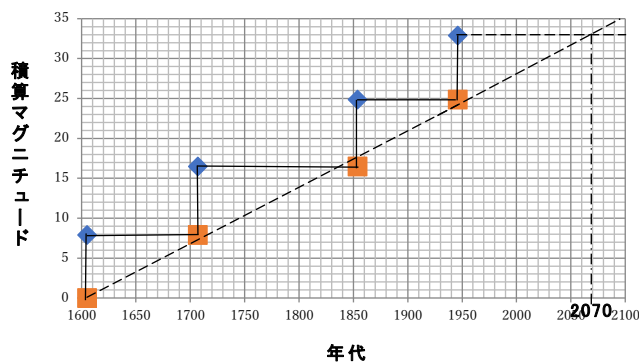


図1

図1より次の南海トラフ地震は2070年頃に起こると予想した。図1は4点を用いたグラフなため誤差は最小限にできたが、用いたマグニチュードが1885年以前のは予測されたものであるためここで誤差は発生する。

4. 解析② ～福良町での津波の高さと到達時間の予測～

海洋政策研究所の2012年1月20日の研究文章より

$$H = \sqrt[4]{(h_1/h)} H_1$$

上のグリーンの法則を用いて津波の高さを計算した。

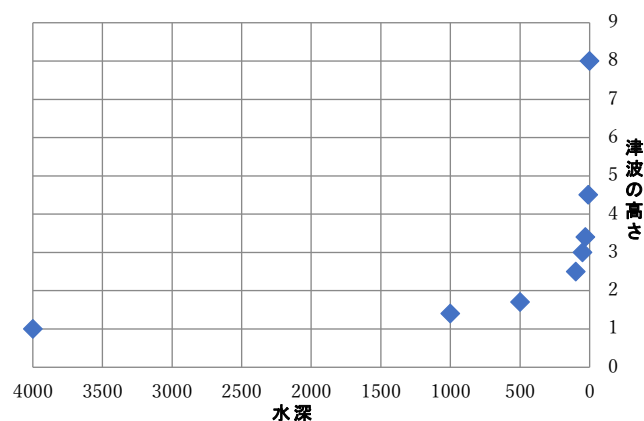


図2

図2は津波の高さと水深を表したグラフである。津波は水深が浅くなるほど大きくなるため、陸に近づくほど大きくなる。海岸線付近では、津波の高さは8.0mと予想した。

図2を作るにあたって、津波発生場所の水深を4000m、初期水位を+1mと仮定し、陸(沿岸線)を水深1mと考え計算した。

そして福良は湾奥にあるため、さらに波の合成によって波が大きくなると考えた。

また、海洋政策研究所の2012年1月20日の研究文章より

$$\text{津波の伝播速度} = \sqrt{gH}$$

を用いて計算すると、福良町での津波到達時間は約29分だった。計算するにあたって、震源地を北緯32度14分03秒・東経134度40分45秒に設定し、Google Earthを用いて平均水深を調べ、1227mとした。

5. 実地検分 ～福良町の避難経路を歩いて～

避難場所に行くまでに、木がたくさん植えられていたり、高い塀があり、地震の時に倒れてくると避難の妨げになる。また、看板が見づらく、分かりづらい。道路の整備状態が悪く、歩道がないところがあり、避難に時間を要するなど問題点が散見された。

6. 考察 ～最適避難ルート～

解析②より避難は29分以内に完了させなければならない。



自分たちが考えた最適避難ルート

福良の中心部を出発にし、国道28号線を北東の方向に進む。上のルートを逃げた場合、図3の津波ハザードマップで津波が来ないと予想されている場所まで徒歩で約20分要する。

[選択理由]

・急な坂や細い道がほかの避難所と比べて少ない。

・垂直避難が難しいお年寄りにも配慮できている。

・福良を初めて訪れた観光客にも道が単純かつ広くてわかりやすい。

・道が広く、歩車分離がされている。

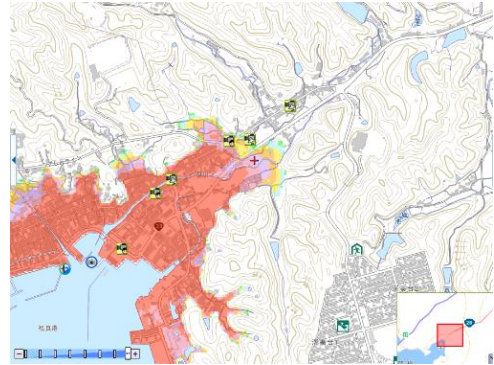


図3

[危険性・デメリット]

国道沿いに街路樹や街灯が並んでおり、倒れる危険性がある。

8. 反省と今後の課題

避難経路を作成する時に、地元の人のお話を一度しか聞けなかったのも、もっと地元の人のお話を活かした避難経路を作成する必要があった。地震は明日に起きるかもしれないし、自分たちが予想した50年後かもしれない。5年以内にできることとして、避難経路の整備がある。10年以内にできることとして、町のかさ上げや持続可能な産業化などがある。自分たちは今できることを少しずつ実行していく必要がある。

9. 参考文献

1) 徳島地方気象台

<http://www.jma-net.go.jp/tokushima/nankai/tokutyo.htm>

2) 兵庫県 CG ハザードマップ

<http://www.hazardmap.pref.hyogo.jp/?smode=pc>

3) OPRI 海洋政策研究所

<https://www.spf.org/opri/newsletter/275>