

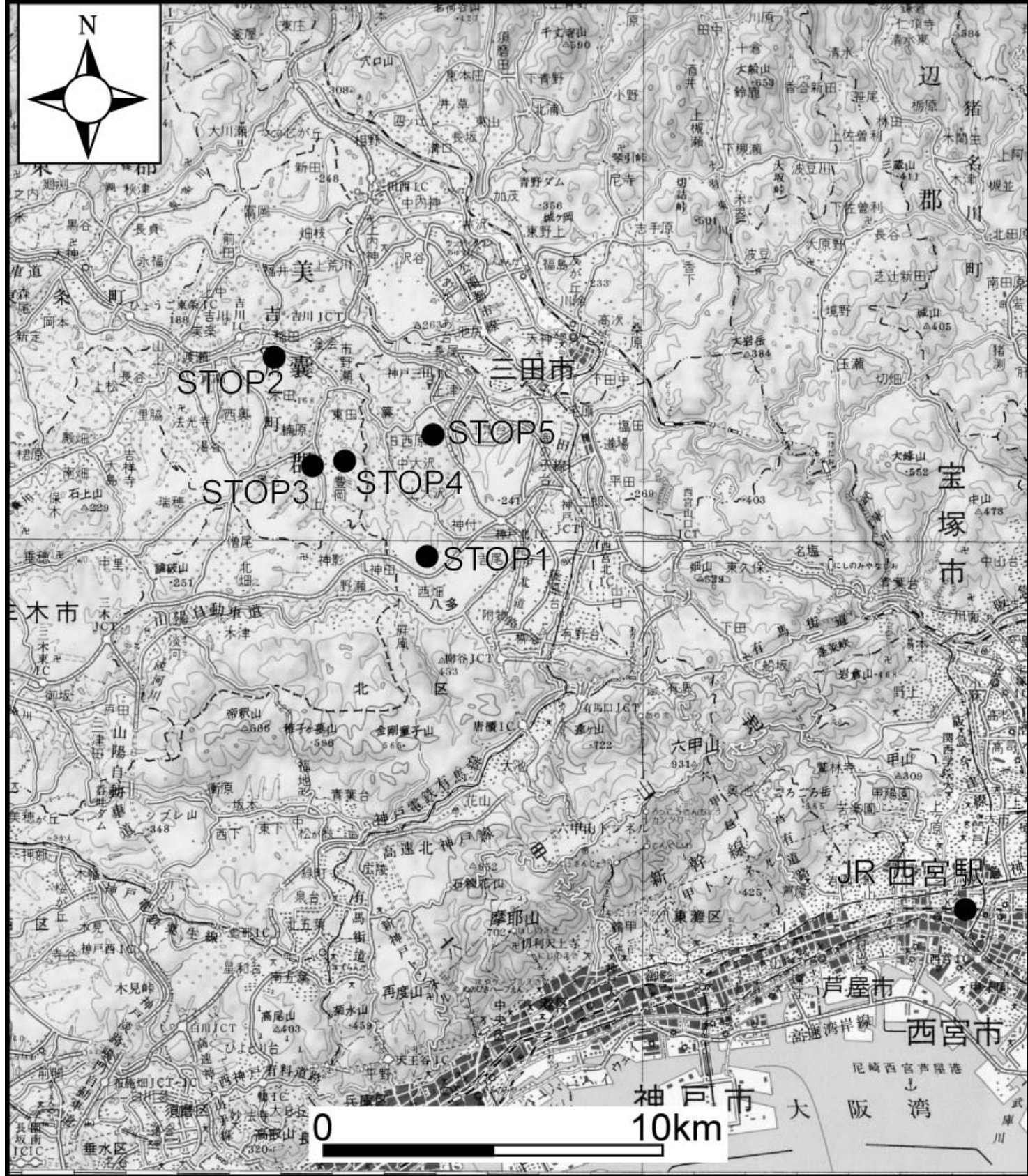
日本地質学会第112年学術大会 (2005年京都)

見学旅行案内書

J 班

神戸層群の凝灰岩と地すべり  
Landslides in tuff of the Kobe Group

横山俊治・村井政徳・加藤靖郎・谷 保孝・藤田 崇  
Yokoyama, S., Murai, M., Katoh, Y., Tani, Y. and Fujita, T.



国土地理院発行1/200,000地勢図「京都及大阪」を一部抜粋

● 携行地図

国土地理院発行1/25,000「三田」「有馬」

● 見学地点

集合場所 JR西宮駅

STOP1 西畑ラテラルスプレッド (神戸市北区八多町西畑)

STOP2 吉川温泉「よかたん」と山田錦の館 (美嚢郡吉川町吉安)

STOP3 神戸層群凝灰岩地すべり地形 (美嚢郡吉川町水上)

STOP4 豊岡北地すべりと上久米凝灰岩層 (美嚢郡吉川町豊岡)

STOP5 神戸層群切土のり面浸食 (神戸市北区大沢町日西原)

解散場所 JR新神戸駅, JR三宮駅

## 神戸層群の凝灰岩と地すべり Landslides in tuff of the Kobe Group

横山俊治\*・村井政徳†・加藤靖郎‡・谷保孝¶・藤田崇§

Shunji Yokoyama\*, Masanori Murai†, Yasuo Katoh‡,

Yasutaka Tani¶ and Takashi Fujita§

### はじめに

- 神戸層群の地すべり研究の最近の動向 -

神戸市街地のすぐ北側にそびえる最高点931mの六甲山地, その北西側の帝釈山地の山並みを越えると, そこには標高100~300mの丘陵地からなる三田盆地が広がっている. 神戸層群はこの丘陵地を中心に分布している(第1図; 第2図). 今回の見学地は三田盆地の中央部に位置し, 兵庫県美囊郡吉川町南東部および神戸市北区八多町~大沢町にかかる地域である. 以下の記述では, この地域を「北神戸地区」と呼ぶことにする.

この地は酒米の王様「山田錦」の栽培地として知られ, 丘陵地の緩斜面のほとんどは山田錦の栽培に利用されている. 現在, ほとんどの水田は圃

場整備がなされて整然としているが, 1980年代までの空中写真では多数の棚田が分布し, 棚田の分布形態からも多数の地すべり地形が読み取れる状況であった. 棚田の分布する緩斜面には主に神戸層群の凝灰岩が分布し, 凝灰岩を起源とする粘土質の土壌が良質の米の栽培を可能にしている. 耕作地が地すべり地にあることから, 地元住民と地すべりとの戦いは古く, 江戸時代には松杭による対策がおこなわれていた. 1969年(昭和34年)頃から兵庫県など行政による地すべりの調査・対策がおこなわれているが, 神戸層群の地すべりが凝灰岩と密接に関係して発生していることがはっきりと分かってきたのは昭和60年以降のことである.

神戸層群の地すべり研究の新たな展開は廣田ほか(1987)によっではじまった. それまで曖昧であった神戸層群の地すべり発生源の大部分が凝灰岩であることがこのとき確実に分かった. 地すべりを発生させている凝灰岩層準がいくつかあること, その中でもkyu-tf<sub>2</sub>凝灰岩部層の分布地域で地すべりが多発していることが示された. このkyu-tf<sub>2</sub>凝灰岩部層は, 1/50,000「三田」図幅(尾崎・松浦, 1988)では上久米凝灰岩層と命名されたものに相当する. その後の神戸層群の凝灰岩地すべりの調査・研究は上久米凝灰岩層を中心に展開されていく.

\* 高知大学理学部

Department of Natural Environmental Science, Kochi University, Kochi 780-8520, Japan

† 高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科

Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, Kochi 780-8520, Japan

‡ 川崎地質株式会社

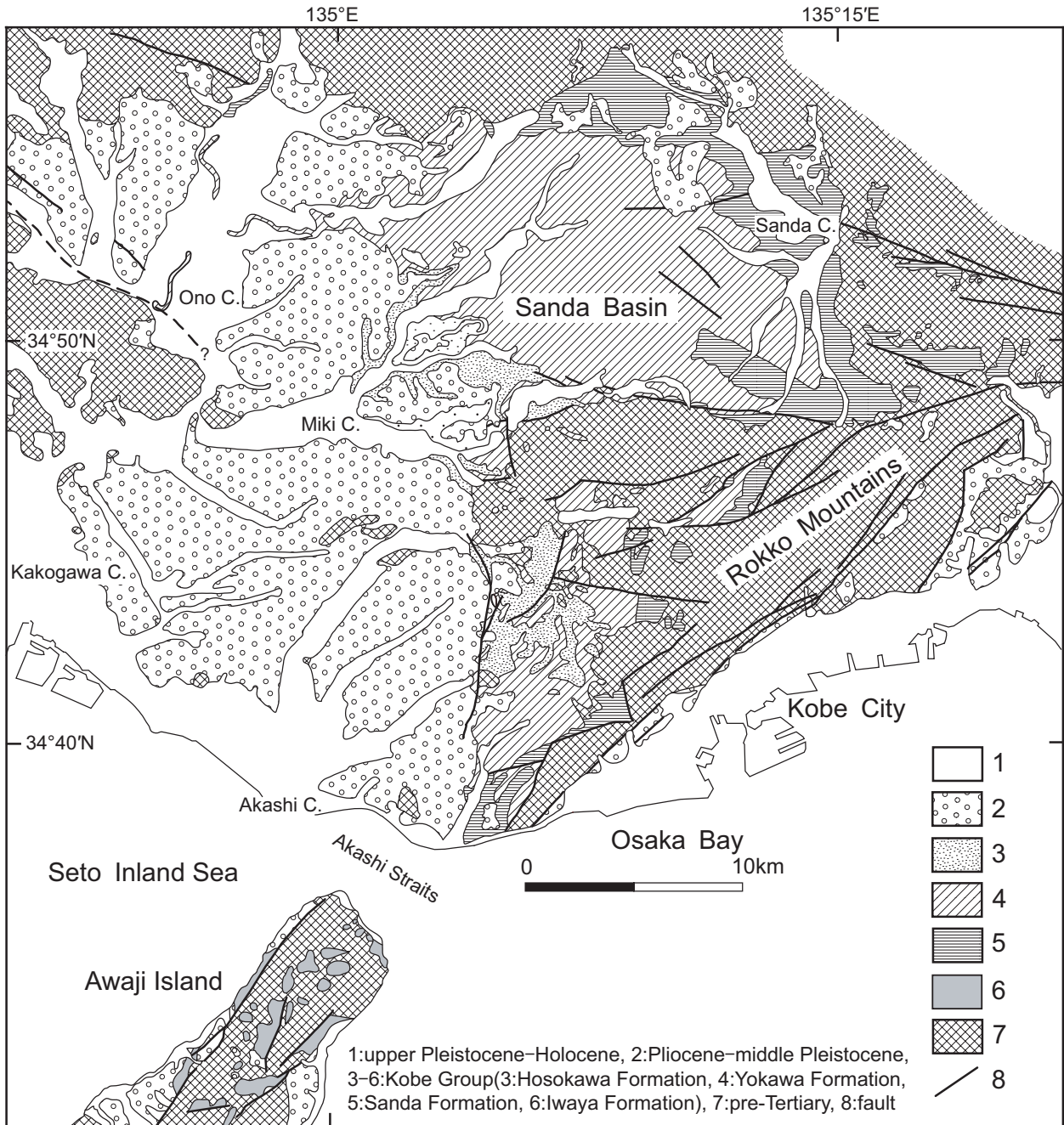
Kawasaki Geological Engineering Co., Gion-cho 1-40, Hakata-ku, Fukuoka 812-0038, Japan

¶ 大阪工業大学工学部

Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology, Omiya 5-16-1, Asahi-ku, Osaka 535-8585, Japan

§ 断層研究資料センター

Fault Research Data Center, Tachiuribori 4-3-2, Nishi-ku, Osaka 550-0012, Japan



第1図 神戸層群の地質図(尾崎ほか, 1996)。

尾崎・松浦(1988)は神戸層群の時代論に関して重要な発見をもたらした。従来、大型植物化石によって新第三紀中新世と信じて疑わなかった神戸層群の年代(たとえば、鹿間, 1938; 堀, 1976, 1983; 松尾, 1987)が凝灰岩層のフィッション・トラック年代とK-Ar年代によって古第三紀(後期始新世~前期漸新世)と一気に1,000数百万年ほど古くなったのである(尾崎・松浦, 1988; 弘原海・

ギェムヴ, 1994; 尾崎ほか, 1996; 木村, 2002)。その後、凝灰岩層の年代測定は全国各地の第三系で実施され、古第三紀層の分布が明確になっていった(宮地・酒井, 1991; 尾崎・濱崎, 1991; 今岡ほか, 1999, 2003; 尾崎, 1999; 松浦ほか, 2002; 鈴木ほか, 2003など)。

この第三系の時代論の顛末は凝灰岩地すべりの研究にも大きな影響を及ぼすことになる。西南日



本内帯では、従来から始新世～漸新世(42～30Ma)の火山-深成作用で発生した田万川期<sup>たまがわ</sup>コールドロン(火山性陥没体)群(村上, 1973)が山陰地方の日本海に沿って分布していることは知られていたが(今岡, 1986; Imaoka *et al.*, 1988; 今岡ほか, 1994), それらと同時代に, その南の地域にも神戸層群や宇部層群, 佐世保層群などの浅海成～淡水成の古第三紀堆積盆群が分布することが明らかになり, 火山性堆積盆群と非火山性堆積盆群の配列という古地理が描けるようになった。酒井(1994)や今岡ほか(1999, 2003)はこれら2列の堆積盆群の間に古第三紀の火山フロントを想定している。日本列島を日本海形成以前に戻すと, 想定された火山フロントは南北になり, 古第三紀堆積盆中の凝灰岩層は田万川期コールドロン群およびそれと同時代に環日本海地域の火山群から噴出した広域テフラであると考えられる。この広域テフラが現在の凝灰岩地すべりの起源となったが, 凝灰岩地すべりの発生頻度や運動様式は地域ごとに, さらに同じ堆積盆でも凝灰岩層準ごとに異なっている。その違いが広域テフラの発生源の違いを反映している可能性もあり, 古第三紀凝灰岩地すべりの広域的比較論は重要な課題となっている(横山・田中, 2000)。

1993年(平成5年)に農林水産省近畿農政局は神戸層群の地すべりを対象とした直轄事業を開始した。これにより「北神戸地区」では神戸層群の基礎的地質情報の集積が進み, 凝灰岩地すべりの研究は一気に加速された。それには, 掘進長100mの長尺ボーリングを含む総長20kmに及ぶボーリングが実施されたことに加え, その調査に地質コンサルタント各社から研究熱心な若手～中堅技術者が結集したことが大きかった。

2000年8月に神戸市で開催された日本地すべり学会の特別セッションにおいて, 直轄事業主である近畿農政局北神戸農地保全事業所の支援・協力

のもと, 上記地質コンサルタント技術者が中心となって「神戸層群の凝灰岩地すべりの総合的検討」が企画された。これにより, 地質学・岩石学・粘土鉱物学・地形学・土質工学・地下水学・情報地質学の視点から凝灰岩地すべりが総合的に検討された。

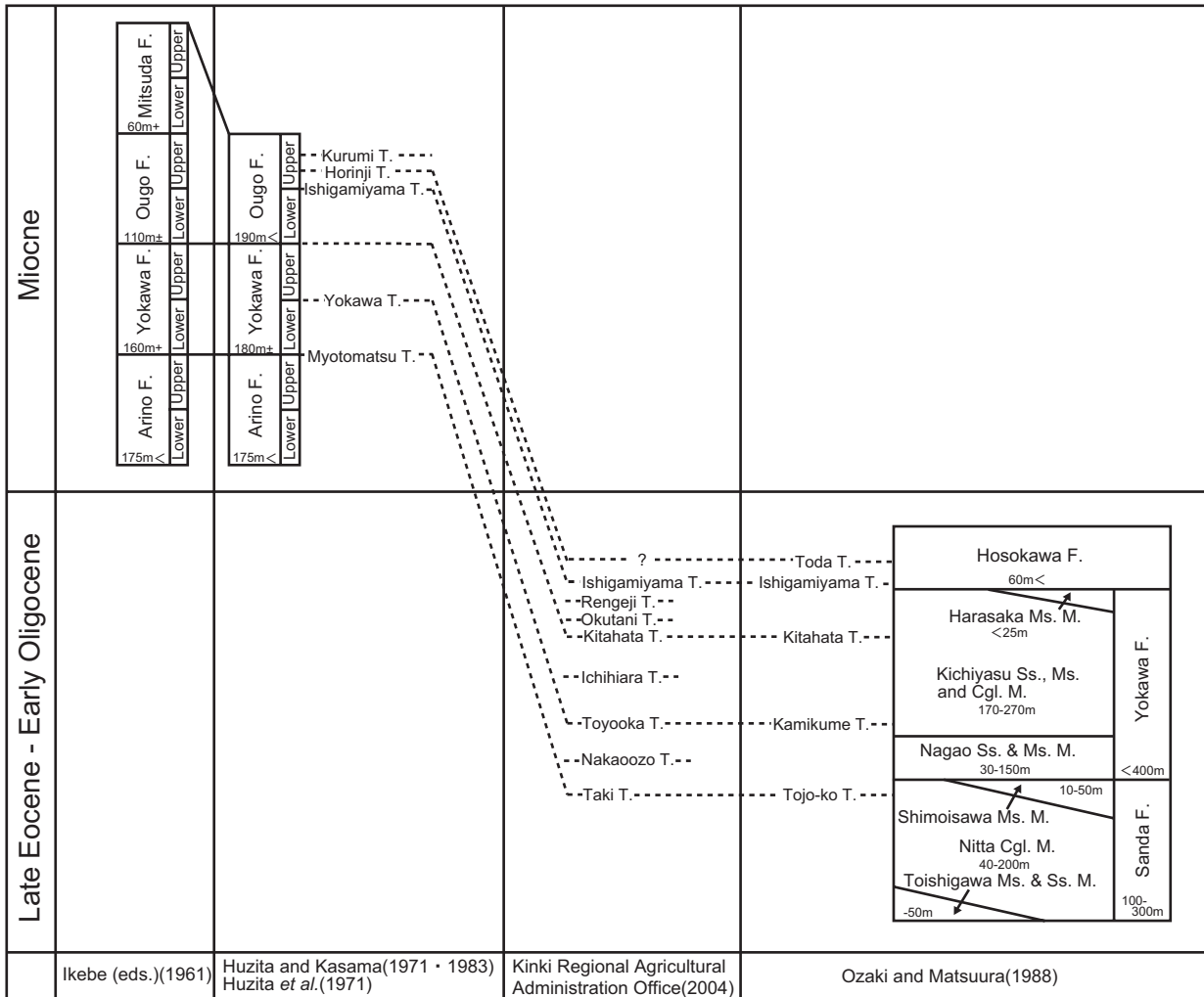
そのときに結成された「古第三紀凝灰岩地すべり研究グループ」の研究活動は, 「古第三紀凝灰岩地すべりの広域的比較研究委員会(日本地すべり学会研究企画委員会内)」(2002～2003年)を経て今日まで続けている。本現地見学案内書もこの研究委員会のメンバー<sup>1</sup>の研究成果に負っている。

### 三田盆地の神戸層群に発達する 鍵層となる凝灰岩層について

三田盆地に分布する神戸層群は河川～湖沼性の碎屑岩層と凝灰岩層からなり, 碎屑岩層中にもしばしば火山岩物質が混入して凝灰質になっているのが特徴である。神戸層群の層序は凝灰岩層を鍵層にして組み立てられ, 池辺編(1961), 藤田・笠間(1971), Huzita *et al.* (1971), 藤田・笠間(1983)尾崎・松浦(1988), 近畿農政局北神戸農地保全事業所(2004)によって公表されているが, 層(累層)の名称およびその境界の位置や鍵層としている凝灰岩層の名称など, いまなお統一した見解には至っていない(第3図)。

凝灰岩層は神戸層群の地すべりの素因となる地層であるので, 凝灰岩の名称についても少し詳しく解説しておく。藤田・笠間(1971, 1983)やHuzita *et al.* (1971)は鍵層となる凝灰岩層を5層検出し, 下位より<sup>みょうとまつ</sup>夫婦松凝灰岩, <sup>いしがみやま</sup>吉川凝灰岩, <sup>ほろりんじ</sup>石上山凝灰岩, <sup>くるみ</sup>法輪寺凝灰岩, <sup>くろみ</sup>久留美凝灰岩と命名している。一方, 尾崎・松浦(1988)は, 最上位の久留美凝灰岩層を検出していないものの, 藤田・笠間(1971)が記載しているほかの4層の凝灰岩層を検

<sup>1</sup>秋山晋二(国際航業株式会社), 藤田 崇(断層資料研究センター), 藤谷 久(中央開発株式会社), 廣田清治(愛媛大学大学院理工学研究科), 池尻勝俊(川崎地質株式会社), 今岡照喜(山口大学理学部), 地下まゆみ(千葉科学大学危機管理学部), 梶山敦司(株式会社建設技術研究所), 加藤靖郎(川崎地質株式会社), 北川隆司(広島大学理学部), 村井政徳(高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科), 中川 渉(応用地質株式会社), 先山 徹(兵庫県立人と自然の博物館), 田中英幸(日本技術開発株式会社), 谷 保孝(大阪工業大学工学部), 横山俊治(高知大学理学部), 渡辺俊一(日本技術開発株式会社)。



第3図 三田盆地に分布する神戸層群の層序区分と対比。

出している。ただし、夫婦松凝灰岩を東条湖凝灰岩層、吉川凝灰岩を上久米凝灰岩層、法輪寺凝灰岩を戸田凝灰岩層に改名している。近畿農政局北神戸農地保全事業所(2004)では、秋山ほか(2000)を踏まえ、北神戸農地保全事業所の直轄地すべり対策地域(本見学地「北神戸地区」とその西の三木市細川町までの地域)において、さらに5層の凝灰岩層(滝凝灰岩層・<sup>なかおおぞう</sup>中大沢凝灰岩層・市原凝灰岩層・奥谷凝灰岩層・蓮花寺凝灰岩層)を鍵層として追加している。このなかで、滝凝灰岩層は東条湖凝灰岩層に対比される可能性が高いが、現在両者の岩相や岩石学的特徴の比較はなされていない。上久米凝灰岩層を豊岡凝灰岩層に改名したのは以下の理由による。

最近、「<sup>やしる</sup>模式地の社町上久米の上久米凝灰岩層」

と「吉川町の上久米凝灰岩層」との対比が大きな問題になっている。社町上久米では現在、吉川町の上久米凝灰岩層と対比可能なユニット1~ユニット3は露頭がない。阪本ほか(1998)は上久米から西に約2kmの東条川付近を調査し、当地域には北畑凝灰岩層に対比される<sup>あんせいいけ</sup>安政池凝灰岩層ほか、その上位に位置する3層の凝灰岩層を検出し、尾崎・松浦(1988)が上久米凝灰岩層(北畑凝灰岩層の下位層準)とした凝灰岩層は安政池凝灰岩層の上位に位置する<sup>やぶ</sup>藪凝灰岩層であるとした。阪本ほか(1998)の見解が正しければ、模式地上久米凝灰岩層は露出していないことになる。三田図幅では「上久米の上久米凝灰岩層」と「吉川町の上久米凝灰岩層」が地質図上で連続していないため追跡できない。さらに、上久米地域には地す

べりがなく、吉川町の上久米凝灰岩層の分布地域が凝灰岩地すべりの多発地域となっていることと対照的である。これらのことを考慮して、秋山ほか(2000)や近畿農政局北神戸農地保全事業所(2004)では、上久米凝灰岩層を豊岡凝灰岩層に改名している。ただし、この見学案内書では、現時点で知名度の高い上久米凝灰岩層を用いて以下の記述をおこなうことにする。

#### 「北神戸地区」の神戸層群の堆積サイクルと凝灰岩層の層準

「北神戸地区」には下位の滝凝灰岩層から上位の奥谷凝灰岩層を含む地層群が分布している。鍵層の凝灰岩層に挟まれた砕屑岩層は上方細粒化を示す堆積サイクルを示し、下位には礫岩や(含礫)粗粒砂岩からなる粗粒砕屑岩層が分布し、その上位には細粒砂岩や泥岩の細粒砕屑岩層が分布している。ひとつの堆積サイクルを示す砕屑岩相の層厚は20~30mである。

凝灰岩層を構成するものには、鍵層の凝灰岩層は流紋岩質の降下軽石や火砕流堆積物などの初生的火山堆積層とそれらの再堆積による二次堆積層がある。現在、滝凝灰岩層・上久米凝灰岩層・北畑凝灰岩層では最下位に降下軽石層が確認されている。後で述べるように降下軽石層は特徴的な岩相をもち、野外で識別が可能であるだけでなく、地すべり運動にも重要な働きをしている。鍵層の凝灰岩層の層厚は10~20mに達する(尾崎・松浦, 1988)。鍵層の凝灰岩層は砕屑岩層の最上位に位置する泥岩(あるいは泥質砂岩)の上位に重なって分布し、泥岩と凝灰岩層との境界にはしばしば亜炭層が挟在するほか、凝灰岩層中に亜炭が含まれることもまれではない。このような凝灰岩層の産状は、沼沢地の広がる穏やかな環境のもと、そこに分布する植生・腐植層を広域テフラが覆った状況を想像させる。鍵層の凝灰岩層のような連続性の良い凝灰岩層は、テフラの降下があっても、沼沢地のような環境がないと保存されなかったかもしれない。鍵層の凝灰岩層のほかにも、層厚数m以下の凝灰

岩の薄層が砕屑岩層中に挟在しているが、その多くは連続性に乏しく、二次堆積物である。

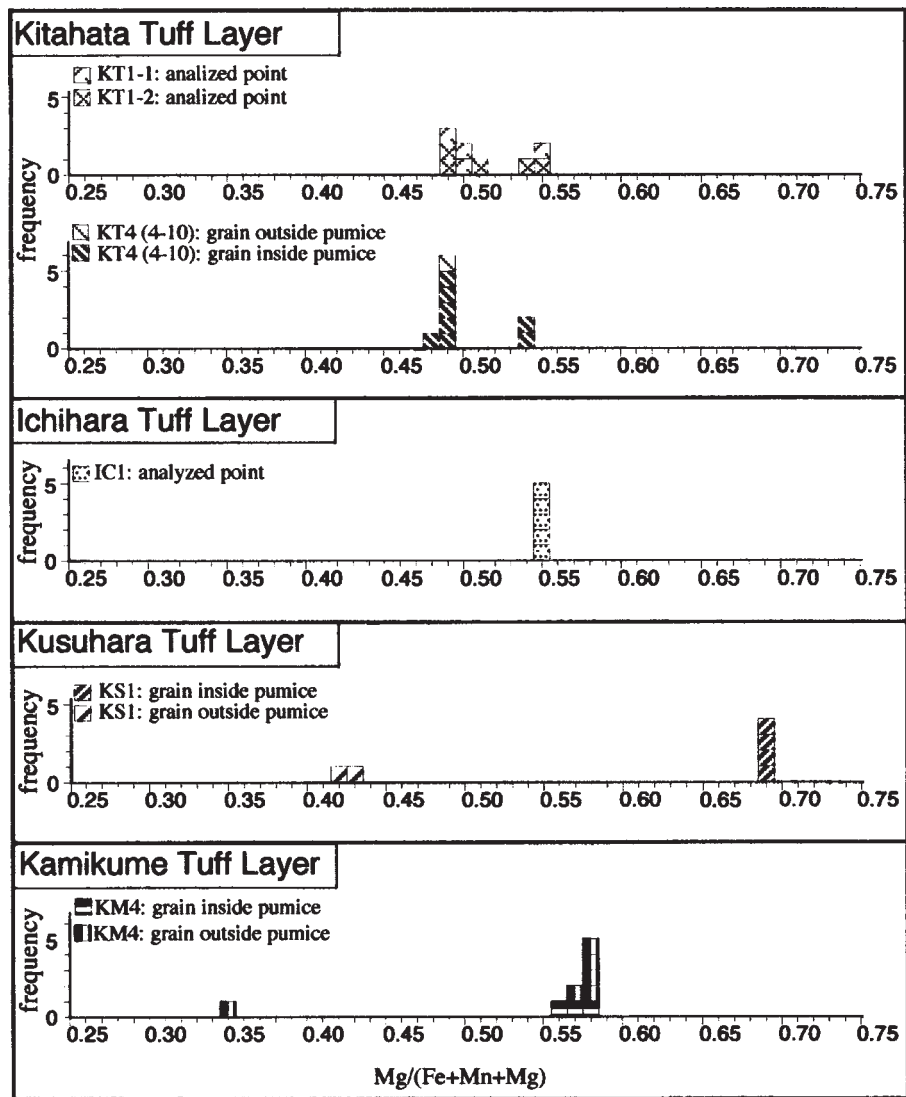
鍵層の凝灰岩層やひとつの堆積サイクルを示す砕屑岩層は、地層の区分単元でみると、それぞれ「部層」単元に相当する。したがって、地層命名規約に則れば、滝凝灰岩層は滝凝灰岩部層となり、砕屑岩層も礫岩砂岩泥岩部層などのような命名が必要になる。

#### 黒雲母の化学組成に注目した神戸層群凝灰岩の識別・対比

凝灰岩層の識別・対比については新たな試みもある。それは、凝灰岩に含まれる黒雲母の化学組成を指標とするものである。これまでに上久米凝灰岩層・北畑凝灰岩層・楠原凝灰岩層および市原凝灰岩層で検討している(今岡ほか, 2000; 谷・中川, 2001; 中川ほか, 2004a, b)。黒雲母の化学分析はEPMAを用いて行い、黒雲母の $Mg/(Fe+Mn+Mg)$ 比(以下、mg値とする)を検討した。

神戸層群凝灰岩層を構成する凝灰岩の多くは二次堆積物であるため、凝灰岩中の黒雲母には基盤岩類に由来するものが含まれている可能性がある。基盤岩類由来の黒雲母と凝灰岩本来の黒雲母とを区別するために、谷・中川(2001)は凝灰岩中の黒雲母を“軽石の内部に産する黒雲母”と“軽石の外部に産する黒雲母”とに区別し、前者の化学組成が凝灰岩の噴出源の特徴を表しているとした。また、谷・中川(2001)は、“軽石外部に産する黒雲母”が“軽石内部に産する黒雲母”と同様な化学組成をもつ場合は、“軽石外部に産する黒雲母”であっても凝灰岩の噴出源に由来するものと解釈した。

第4図のmg値のヒストグラムをみると、凝灰岩の噴出源の黒雲母は凝灰岩層ごとに特徴的なmg値を示すことがわかる。すなわち、上久米凝灰岩層は $mg = 0.56 \sim 0.58$ (モード値:0.58)の値を示す。北畑凝灰岩層は $mg = 0.48 \sim 0.51$ (モード値:0.49)および $mg = 0.54 \sim 0.55$ のバイモーダルな値を示す。楠原凝灰岩層は $mg = 0.69$ の値を示す。市原凝灰岩層は $mg = 0.55$ の値を示す。後述するように、神戸



第4図 北畑凝灰岩層，市原凝灰岩層，楠原凝灰岩層，上久米凝灰岩層に含まれる黒雲母の  $Mg/(Fe+Mn+Mg)$  比のヒストグラム。

層群の凝灰岩層は粘土化が著しいのですべての層群の凝灰岩層に通用することは無理であるが、凝灰岩層の識別・対比に黒雲母の化学組成は有効な指標になる可能性がある。

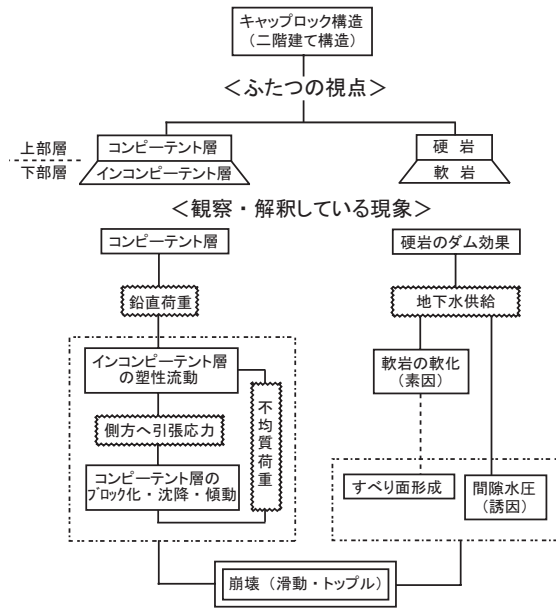
#### 凝灰岩地すべりの素因

三田盆地の神戸層群は西に開いた向斜構造が堆積盆全体を包み込んでおり、大局的には西に緩傾斜した層状岩盤を形成しているが、局所的には向斜構造内部に発達する小規模な開いた褶曲構造や断層を受けて層状構造の姿勢が変化する。凝灰岩

地すべりは局所的な層状構造の姿勢に強く規制された並進すべりが多い(中川ほか, 2000)。並進すべりの発生は非対称な断面形の発達した山稜であるケスタを発達させ、緩やかな傾斜をもつケスタの背面はひとつの構造面となつてつぎの地すべり発生の地形的素因になっている。

山頂付近やケスタの背面上の支尾根には浸食に強い礫岩・粗粒砂岩が分布し、その下位の凝灰岩層の浸食を防いでいる。このような上位の硬質岩層と下位の軟質岩層からなる地形・地質構造をキャップロック構造という。神戸層群の凝灰岩地すべりでは、このキャップロック構造が重要な素





第5図 キャップロック構造に起因した地すべりの発生モデル (横山, 2003)。

因となっている。ケスタの背面で、現在は凝灰岩層が地表に分布しているところも、かつては礫岩・粗粒砂岩のキャップロックが広がっていたが、ほんの一部の分離丘を残して地すべり運動によって失われたと考えている。

今日、キャップロック構造の効果による地すべり発生についてはふたつの機構が考えられている (第5図)。神戸層群ではそれぞれの機構が主因になった地すべりが発達している。

通常考えられているキャップロック構造の効果は上位のキャップロック中のクラックに涵養されている地下水が下位層に供給され、下位層の劣化と地下水上昇で地すべりが発生するというものである。神戸層群では、キャップロックからもたらされた地下水によるその直下の凝灰岩層の劣化は日常的に起こっている現象であるが、この機構で発生した地すべりの典型は切土のり面で発生する小規模流動型地すべりである。

いまひとつのキャップロック構造の効果はキャップロックの荷重による下位層の塑性変形で地すべりが発生するというもので、日本では神戸層群の金会地すべりに初めて記載されたものである (加藤・横山, 1993)。金会地すべりでは、キャップロックである礫岩・粗粒砂岩は開口ク

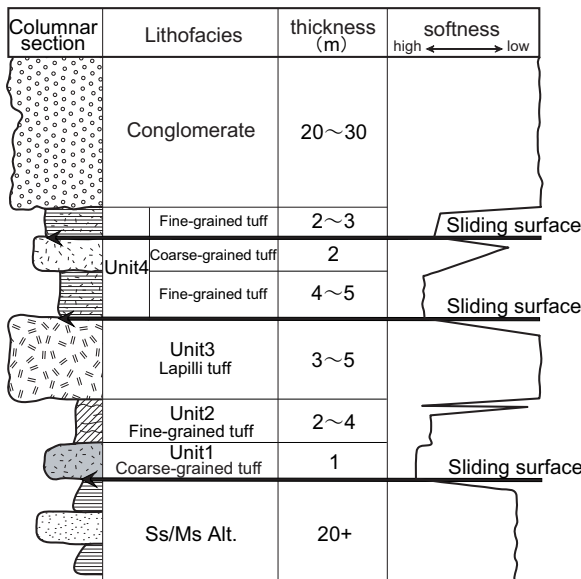
ラック{ガル (gull)} 群の発生で分離・ブロック化し、各ブロックが下位層である軟質凝灰岩層中に沈み込んでいる。一方、軟質凝灰岩層はガル中に貫入するほか、キャップロックの前面ではキャップブロックを反り返らせている。

神戸層群の凝灰岩層 (部層) は粒度や組織など岩相の異なる複数の凝灰岩層 (単層) からなる。ほとんど粘土化していない硬質凝灰岩層から地層全体が完全に粘土化している軟質粘土化凝灰岩層までがひとつの凝灰岩層 (部層) のなかでも互層しているが、粘土化の程度はほぼ岩相ごとにまとまっているのが大きな特徴である。粘土化の程度に関わりなく、粘土鉱物の大部分はCa型 (Ca・Na・K イオンの割合でCa イオンが優勢) モンモリロナイトである (Yasuoka *et al.*, 1995; 北川ほか, 2000)。粘土化 (モンモリロナイト化) は現在地すべりが発生している地表付近 (深度 10 ~ 20m 程度) に限られる現象ではなく、しかも地表に向かって粘土化の程度が一様に著しくなるものでもない。たとえば、長尺ボーリングコアで得られた深部 (78.35m 深) の上久米凝灰岩層ユニット1は長柱状コアの形状をもっているが、ほぼ完全にモンモリロナイトの集合体になっている。

軟質粘土化凝灰岩層は保水性が高く、塑性指数が 80 ~ 130 と高いのが特徴である (谷本・池尻, 2001)。これはCa モンモリロナイトが高い膨潤性をもち、結晶構造に入った水が容易には抜けないからであろう。このような物理的性質は軟質粘土化凝灰岩層の塑性変形を容易にし、上述したように、キャップロックの荷重だけで軟質粘土化凝灰岩層は変形する。

上久米凝灰岩層と凝灰岩地すべり

上久米凝灰岩層は一軸圧縮強度で数  $10^3$  ~ 数  $10^4$  倍の差をもつ硬軟互層からなり、4つのユニットに岩相区分される (第6図)。最上位のユニット4は軟質層優勢互層で、礫岩層分布域では、礫岩層をキャップロックとするキャップロック構造を形成している。ユニット3は硬質な火山礫凝灰岩層でハンマー衝撃により火花が出るほどの硬さをも



第6図 上久米凝灰岩層とその上下の碎屑岩層の岩相・層厚・軟質度合を示す模式柱状図(横山,2003を修正・加筆).

つ. ボーリングコアの一軸圧縮試験の結果, 一軸圧縮強度は 103 ~ 167MPa である. ユニット 2 は基本的にはユニット 3 同様硬質凝灰岩層であるが, 一部軟質化している部分もある. 軟質化しているとはいえ, ユニット 4 やユニット 1 に比べると硬質である. 最下位のユニット 1 は全体がほぼ均質な軟質粘土化凝灰岩層であり, 含水により著しく膨潤する性質がある. 黄灰色を呈するのが特徴的で, 地元では「イヌグソ」と呼ばれている. 上久米凝灰岩層の下位には一軸圧縮強度で 30 ~ 100MPa を示す青灰色の砂岩・泥岩互層が分布している. 砂岩・泥岩ともにボーリングコアでは短柱状~棒状で採取され, 岩盤等級では C<sub>L</sub> 級 (一部 C<sub>M</sub> 級) に相当する.

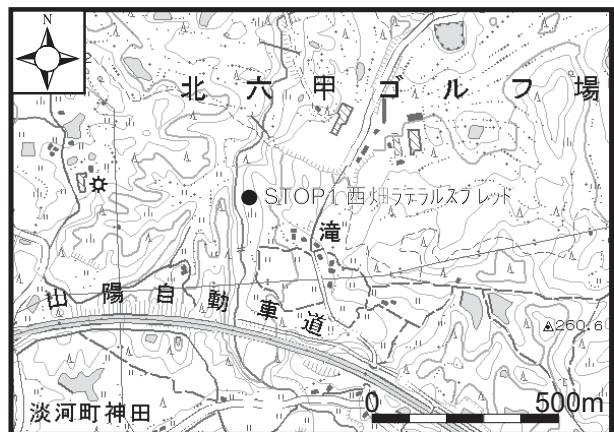
吉川川沿いには, 南から南水上, 豊岡, 豊岡北, 楠原, 東畑地区と, 上久米凝灰岩層をすべり面とする地すべりがほぼ連続して分布している. これらの地区名の地域は大規模地すべりの分布範囲と一致している. 大規模地すべりの規模は 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> オーダーに達するが, すべり面深度は 10 ~ 15 m 程度しかなく分布面積が広いのが特徴である. 大規模地すべりは上下を硬質層に挟まれたユニット 1 の中で移動しており, 並進すべりの一面をもつが, 実際にはユニット 1 層全体が変

形しているのが特徴である. 大規模地すべりの分布域の中には, ユニット 4 をすべり面とする中規模地すべり (10<sup>3</sup> ~ 10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> オーダー) と小規模地すべり (10 ~ 10<sup>2</sup> m<sup>3</sup> オーダー) が共存している. すなわち, 層準の異なる 2 層の凝灰岩層にすべり面をもつ地すべりが同じ地域の共存していることが上久米凝灰岩層で発生した凝灰岩地すべりの大きな特徴である. また, キャップロック型地すべりは中規模・小規模地すべりの特徴である.

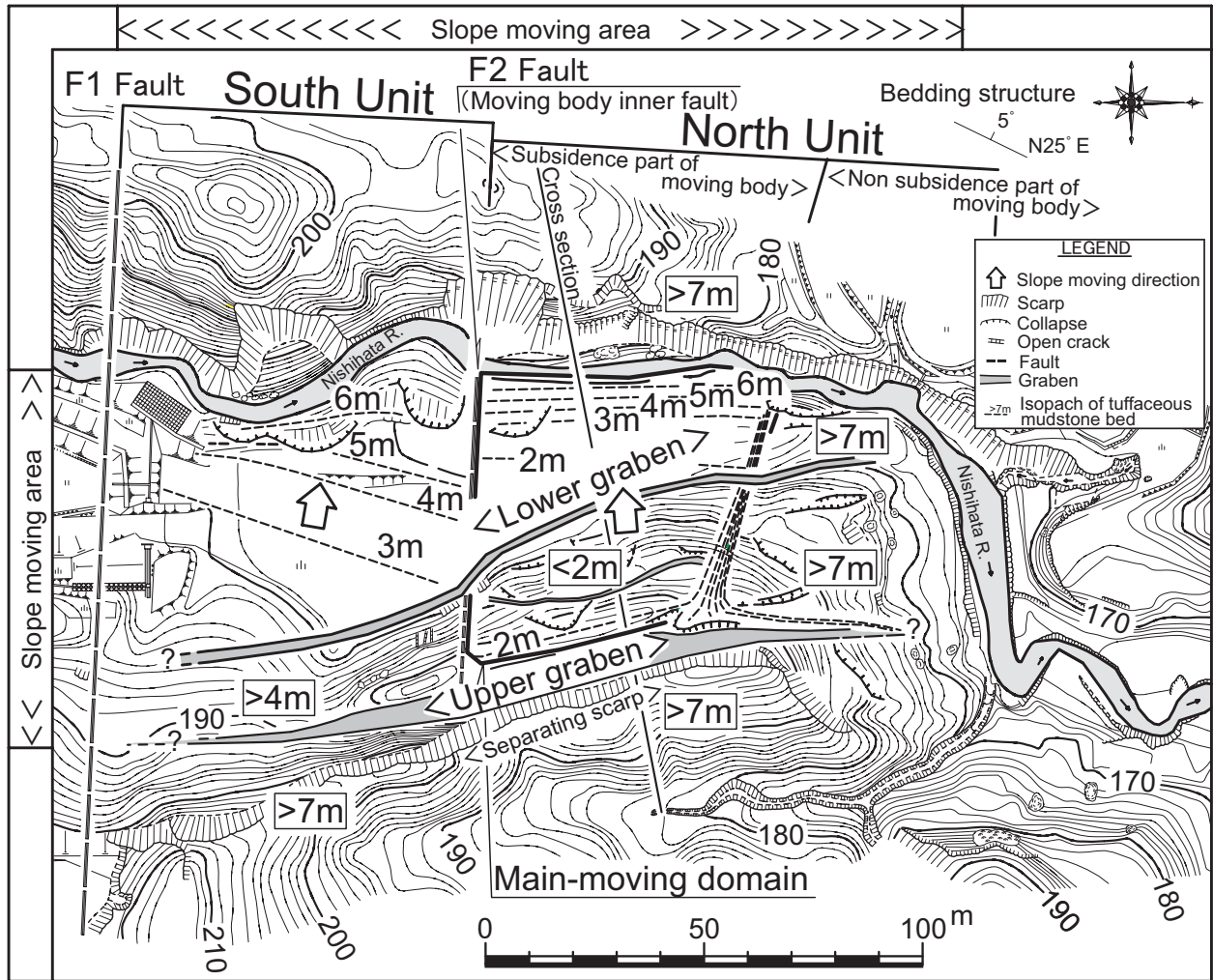
### 見学地の案内【1】 西畑ラテラルスプレッド

#### (1) アクセス

中国自動車道西宮インターチェンジを出て神戸方面に進み, 約 2km 直進する. 突き当たりの「吉尾」交差点を右折, さらにひとつ目の信号「上小名田」を左折する (県道 82 号線). このあとは道なりに進み, 「上大沢」の信号までは, 「北六甲カントリー倶楽部」の行先標示板が道路脇に出ているので, それに従えばよい. 「上大沢」の信号を左折して直進, 「北六甲カントリー倶楽部」のクラブハウスを通過し竹林を抜けると, 西畑の集落に出る. 集落に出て最初に右手に見える民家を少し行ったところの道路脇に駐車スペースがある. 駐車スペースからは農作業道を西畑川に向かって徒歩で降りていく (第 7 図).



第7図 STOP1の位置図(国土地理院発行1/25,000「有馬」より抜粋).



第8図 西畑ラテラルスプレッドの地すべり地形とすべり層（凝灰質泥岩）の層厚分布を示す図（加藤，2000；加藤，2004を改変）。

(2) みどころ

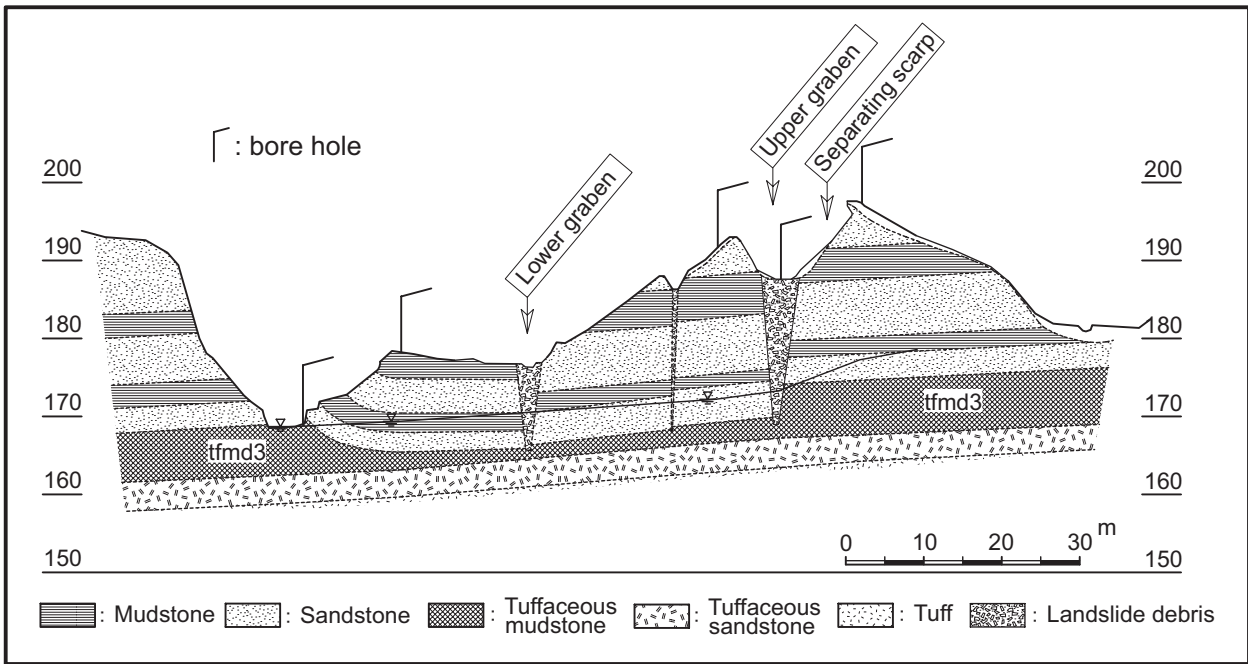
滑動（スライド）は、地すべり移動体がすべり面上を滑り降りる地すべり運動である。これに対して、スプレッド（ラテラルスプレッド）は、厚みをもったすべり層中に分離した地すべり移動体が沈み込み、それによってすべり層を押しおのけながら斜面下方に移動していく地すべり運動である。西畑ラテラルスプレッドは、加藤ほか（1999）によってわが国で最初に記載されたスプレッドタイプの地すべりである。西畑ラテラルスプレッドのみどころは、地すべり移動体中に発達した開口クラック群とそれによって生じたりッジである。開口クラック群を跳び越え、リッジを乗り越えながら、地すべり移動体の斜面を下っていくと、西畑川の河床にでる。ここがすべり末端で、河床に

露出したすべり層の凝灰質泥岩を観察することができる。また、対岸はケスタの階崖がつくる急崖で、砂岩ブロックが転倒崩壊している。

(3) 地すべり構造

西畑ラテラルスプレッドは、凝灰質泥岩からなるすべり層の塑性流動で、層厚 15 ~ 20m の砂岩・泥岩からなる地すべり移動体が移動方向にほぼ直交する開口クラック群によって分断されながら、西畑川に向かって移動している（第8図；加藤ほか，1999；加藤，2000）。地すべり移動体を横断する F2 断層によって、西畑ラテラルスプレッドは北ユニットと南ユニットに分かれている。凝灰質泥岩の本来の層厚は 7m 程度であるが、南ユニットよりも北ユニットの方がスプレッドの証拠である





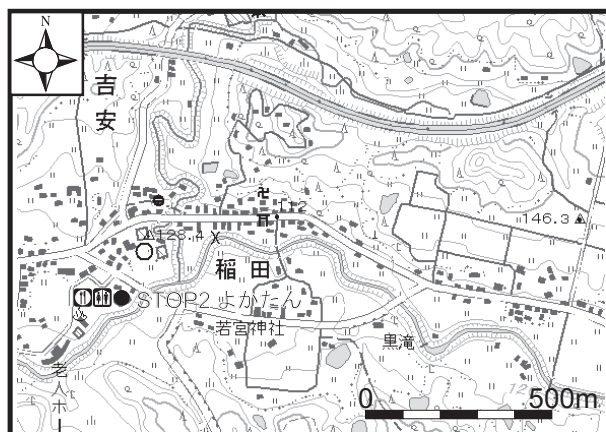
第9図 西畑ラテラルスプレッドの地質断面図(加藤, 2004)。

すべり層の薄層化が顕著で、最も薄いところで1mくらいになっている(第9図)。しかし、北ユニットでもその北部ではすべり層は薄層化していない。このように地すべり全体としてみると、すべり層の薄層化は様様ではないが、このこともスプレッドの証拠とみることができる。また、南ユニットでは、すべり層の中には地すべり移動体由来の岩片が混入している。これは、地すべり変動時にすべり層中に開口クラックを伝って落下した岩片が機械的に混じり込んだものである。地すべり末端では、地すべり移動体の下底面は反り返り、すべり層の凝灰質泥岩が河床に顔を出している。絞り出された凝灰質泥岩が西畑川の流れて浸食されなければ、河床にはバレーパルジングが形成されていたものと思われる。

凝灰質泥岩の下底面から数10cmほどの範囲は新鮮でほとんど変形していないようにみえる。そこから地すべり移動体の下底面までが破碎していて、下位より、せん断面群の発達した「弱いせん断帯」(層厚: 数10cm ~ 1m程度)、その上位に、著しく細粒化の進んだ「小岩片混じり粘土化帯」(層厚: 数cm以下)、さらにその上位に、数cm以下の軟質化した角礫岩片とそれらの粒間を埋める粘土からなる「粘土混じり角礫状破碎帯」が分布

する。「粘土混じり角礫状破碎帯」の層厚が地すべり移動体の位置ごとに異なっており、凝灰質泥岩の層厚の差を決めている。凝灰質泥岩の層厚減少を考える上で、注目すべき現象が二つあげられる。ひとつは「小岩片混じり粘土化帯」から派生した粘土脈がすべり層を通過し、さらに地すべり移動体の中まで上昇していること、もうひとつは小岩片を多く含んだ粘土が西畑川の河床に絞り出され、現河床礫の上に溜まっていることである。凝灰質泥岩の層厚が薄くなるのは、このように凝灰質泥岩内の破碎・細粒化された物質が地層外に絞り出されることによって生じると考えられる。この小岩片混じり粘土が「小岩片混じり粘土化帯」に由来し、それが絞り出された結果、現在の地すべり移動体の下底では「小岩片混じり粘土化帯」がほとんど残っていないのか、「粘土混じり角礫状破碎帯」が地すべり変動の過程で「小岩片混じり粘土化帯」に移り変わっていき、それが絞り出された結果、「粘土混じり角礫状破碎帯」の層厚が地すべり移動体の位置ごとに変化しているのかといったことは今のところ不明である。ただいえることは、塑性指数60~120の軟質粘土化凝灰岩の塑性変形とは違って、塑性指数が22~36しかない凝灰質





第10図 STOP2の位置図(国土地理院発行1/25,000「三田」より抜粋)。

泥岩では、脆性破壊が流動化に先行し、脆性破壊によって形成された岩片と粘土の混合物の流動で薄層化が起こっているということである。

地すべり移動体の砂岩泥岩互層は節理に沿って分離・開口し、多数の開口クラック群が形成されている。このうちで規模の大きなものは主滑落崖と地すべり移動体との境界に形成されている上部地溝と地すべり移動体の中央部付近に形成されている下部地溝で、それらの地溝内部は地すべり移動体から崩れた岩屑が埋めている。

### 見学地の案内【2】

#### 吉川温泉「よかたん」と酒米「山田錦」

##### (1) アクセス

中国自動車道吉川インターチェンジを出て、最初の信号を左折し(県道17号線)、約1km行ったところの県道南側に面したところに吉川温泉「よかたん」はある。向かい側にはコンビニエンスストア(セブンイレブン)がある(第10図)。

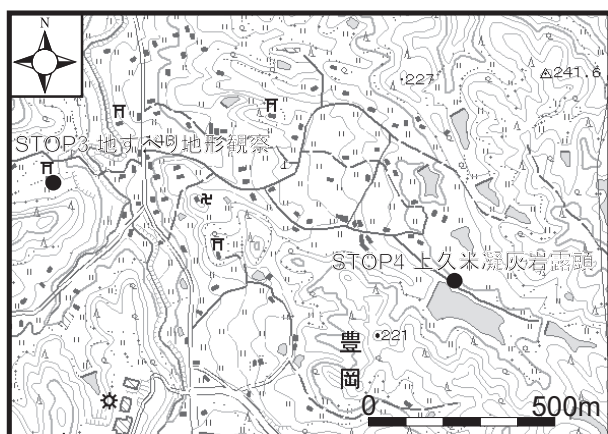
##### (2) みどころ・味わいどころ

今回、昼食場所として選んだ吉川温泉「よかたん」は日本一を誇る4,110ppmという炭酸ガスを含む炭酸温泉で、炭酸ガスの小気泡が肌に付く泡の湯である。炭酸温泉は循環器系疾患に効能が高く、ヨーロッパでは「心臓の湯」といわれている。六甲山地の北側の地域では昔から炭酸泉の湧水が知られている。日本最古の温泉として日本書紀に

も登場している有馬温泉の源泉のひとつは炭酸泉である。有馬温泉には「炭酸地獄」「虫地獄」「鳥地獄」と呼ばれている二酸化炭素の噴出空間がある。また、日本のサイダーの発祥の地で、炭酸せんべいが当地の名産である。今回温泉気分を味わいたい人は足湯で部分浴を楽しんでいただきたい。湯の温度は42～43℃で、しばらく足をつけていると発汗が起こり、午前中の疲れがとれるかもしれない。

「足湯」場の背景の人工滝は、金会地すべりの末端を流れる美囊川にかかる滝「黒滝」を模したものである。黒滝は幅30m、落差4mの幅の広い滝で、硬質凝灰岩層が滝をつくっている。この黒滝には古くから伝わる民話「万八狸とお万狐」がある。

山田錦の館では、酒米「山田錦」や吉川町の農業について学習できるほか、山田錦を使った各酒造メーカー最高級品の日本酒を味わうことができる。吉川町を中心とする兵庫県美囊郡および加東郡は灘・伊丹という日本酒生産地のすぐ背後に立地し、酒米生産に適した気候風土に恵まれ、藩政時代から優良な酒米産地としてその名声を全国に轟かせていた。明治以降、近代的な品種改良技術が導入される中で幾多の県奨励品種が生まれたが、その頃の品種は収量も少ないうえに草丈も長く倒伏する癖もあり、農家は酒米生産をあまり好まなかった。そんな中であって品質の優れた酒米、特に背丈の短いものを作ろうとの計画が進み、1923(大正12)年兵庫県立農事試験場において「山田穂<sup>やまだほ</sup>」を母に、「短稈渡舟<sup>たんかんわたぶね</sup>」を父として人工交配を行い、新品種が生まれた。それが「山田錦」である。明治～昭和初期には幾多の酒造好適米品種が登場する中であって、未だに山田錦の醸造特性に勝るものは現れず、今日まで王座に君臨している。山田錦は米粒が特に大きく、くっきりした心白を持ち山田錦は米粒が特に大きく、くっきりした心白を持ちタンパク質が少なく、吸水性・消化性がよいのが特徴で、麹造りにおいて破精込みの良い麹ができあがる。



第11図 STOP3とSTOP4の位置図（国土地理院発行1/25,000「三田」より抜粋）。

### 見学地の案内【3】

#### 豊岡北地すべり

##### (1) アクセス

中国自動車道吉川インターチェンジを出て、最初の信号を左折する（県道17号線）。「よかたん」を越え、さらに道なりに約2km行き「市野瀬」の信号を右折する（県道506号線）。右折して約2km直進すると右手に豊岡北公民館、左手に「かじみせ」という食料品店がある。「かじみせ」の左手側の斜面が豊岡北地すべり地になる（第11図）。

##### (2) みどころ・味わいどころ

吉川川の右岸側（東側）の斜面は緩やかな傾斜をもつケスタの背面が広い構造面をつくっていて、緩斜面一帯が大規模・中規模・小規模の地すべりで埋め尽くされている。これらの地すべりのいずれもが上久米凝灰岩層をすべり面とする凝灰岩地すべりである。今回は、大規模地すべりのひとつ豊岡北地すべりを見学する。

まず、豊岡北地すべりの対岸（吉川川の左岸側、西側）の大歳神社の広場から豊岡北地すべりの地すべり地形を遠望してみよう。現在は圃場整備によって中規模地すべり地形はすっかり失われているが、大規模地すべりの輪郭構造、流れ山、キャップロックの礫岩・粗粒砂岩の分布域は観察することができる。

では、豊岡北地すべりの中に入って見よう。大規模地すべり地形の勾配がいかにか緩やかであるか

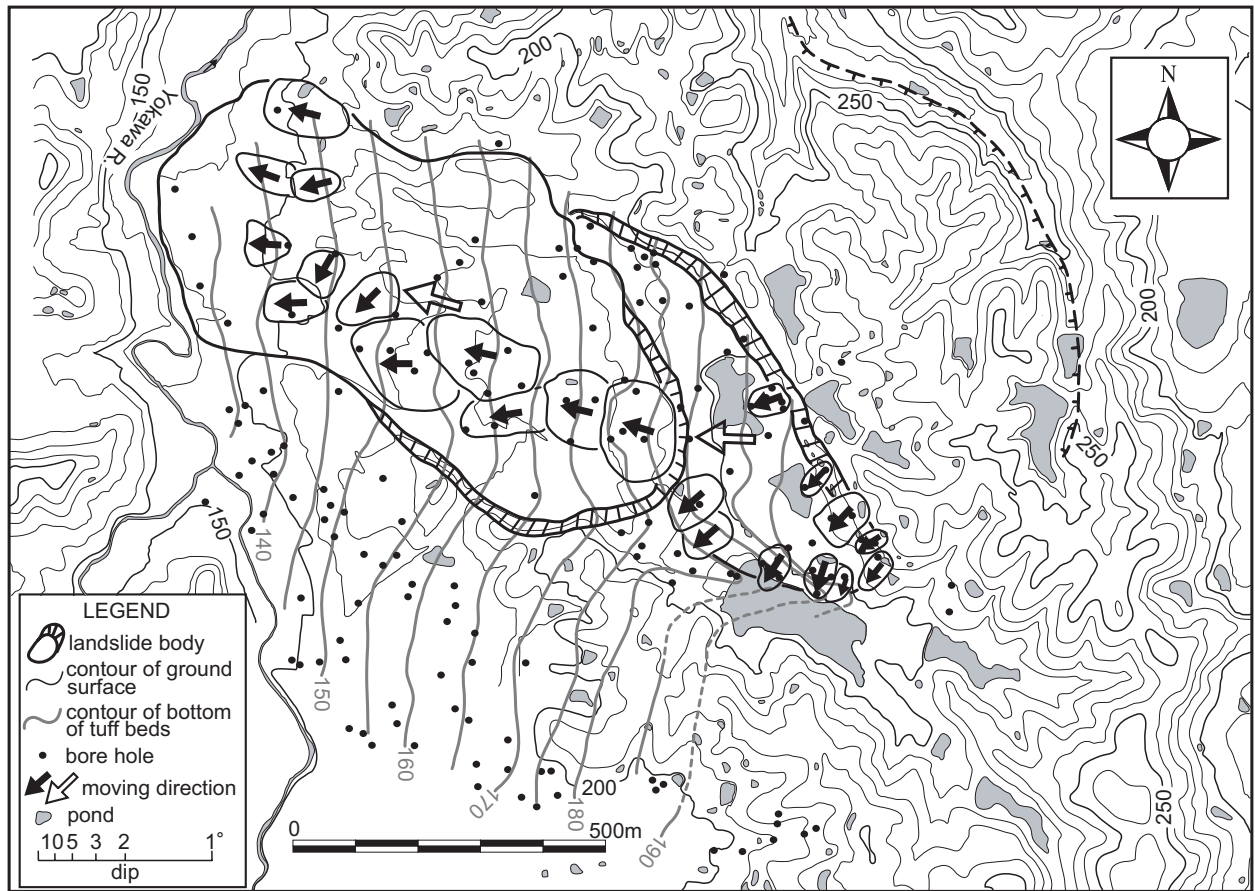
を体感しながら、地すべり末端から登っていく。途中、車窓から昨年（2003年）に発生した小規模流動型地すべりの跡が見られるかもしれない。大規模地すべりの右側側方崖付近を東に延びる道路沿いでは、道路の建設時に、キャップロックの礫岩・粗粒砂岩層に発生した開口クラック（ガル）群に沿って、その下位のユニット4の軟質凝灰岩層から派生した粘土脈が貫入しているのが観察された。粘土脈は礫岩・粗粒砂岩層の下底の層理面から約1m位の高さまで上昇しているが、その上は開口しているか、キャップロック起源の粗粒碎屑物で充填されている。このような凝灰岩の貫入現象は、大規模地すべりの滑落崖の背後斜面部において発生しており、これまで不動域であると考えられている尾根近傍にまで斜面変動が及んでいることが明らかとなっている（村井ほか，2003；村井・横山，2003）。

豊岡北地すべりの南部に位置する歯朶尾池の北側の道路沿いでは、車を降りて、大規模地すべりのすべり面となっている上久米凝灰岩層最下部層のユニット1を畦畔斜面で観察する。是非、手にとって、黄灰色の“イヌグソ”感覚を味わって頂きたい。

日陰の少ない当地すべり地で涼を取るのには西山牧場直営アイスクリーム工房「BOB&MOM」がお勧めである。ここでは、店の前の畑で獲れた野菜や果実、牧場で搾った新鮮なミルクをたっぷり使った、素材の味を大切にアイスクリームが味わえる。さっぱりした後味で、甘いものが苦手な人でもきっと満足していただけるだろう。今回も、豊岡北地すべりを離れる前に、ちょっと立ち寄ってみたい。

##### (3) 豊岡地すべりの地形・地質

豊岡北地すべりの大規模地すべりは幅約500m、長さ約1,000m、すべり面深度平均10mで、地すべり移動体の分布面積に比べて層厚が非常に薄いのが特徴である（第12図）。地すべり移動体は、頭部滑落崖から斜面下方に約200m下ったところに発達する副滑落崖によってふたつのブロックに分かれている。副滑落崖と地すべり移動体との間には幅30mの凹地があり、埋もれ木を含む岩屑に埋



第12図 豊岡北地すべりの地すべり地形図。

められている。大規模地すべりが並進すべりを起こしている凝灰岩層はユニット1で西に約3～4°で傾斜している(第13図;第14図)。大規模地すべりはユニット1内の層全体に及ぶ塑性変形を伴いながら滑動している。ユニット1は側方変化に乏しく、層厚約1mでほぼ一定であるものの、一部のボーリングコアでは、それが引き伸ばされて層厚50～80cmに減少している。さらに、集水井工事前調査ボーリングでは、その層厚が1～5cmと極端に薄くなり、局部的には完全に欠如してしまっているところもある。通常、明瞭な剪断面が観察されることは少ないが、集水井施工中にユニット1の下底面に地すべり滑動を示唆する条線が形成されていたり、ユニット1の直下位に薄く挟まれる亜炭層がユニット1に取り込まれていたりする。また、残留古地磁気も粘土鉱物の定向配列がユニット1の剪断破壊を示唆している(川村, 2003)。ユニット1は吉川川的位置では河床面

より下位に潜り込んでいるために、大規模地すべりの末端部では、ユニット1とユニット2がユニット3の上に衝上している。

一方、ユニット4をすべり面とする中規模・小規模地すべりのすべり面はユニット4の軟質凝灰岩と中粒硬質凝灰岩との境界、軟質凝灰岩とユニット3(硬質火山礫凝灰岩)の境界に形成されることが多い。

#### 見学地の案内【4】

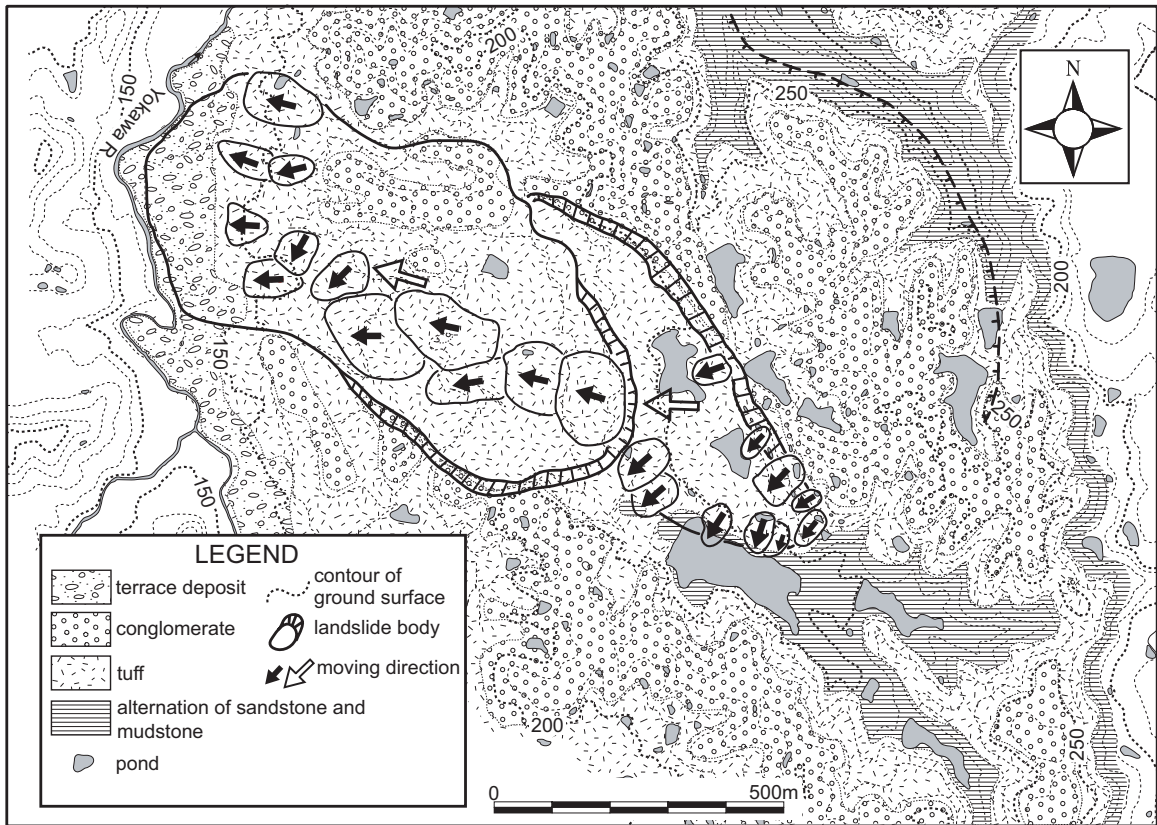
##### 切土斜面の浸食

(神戸市北区大沢町日西原)

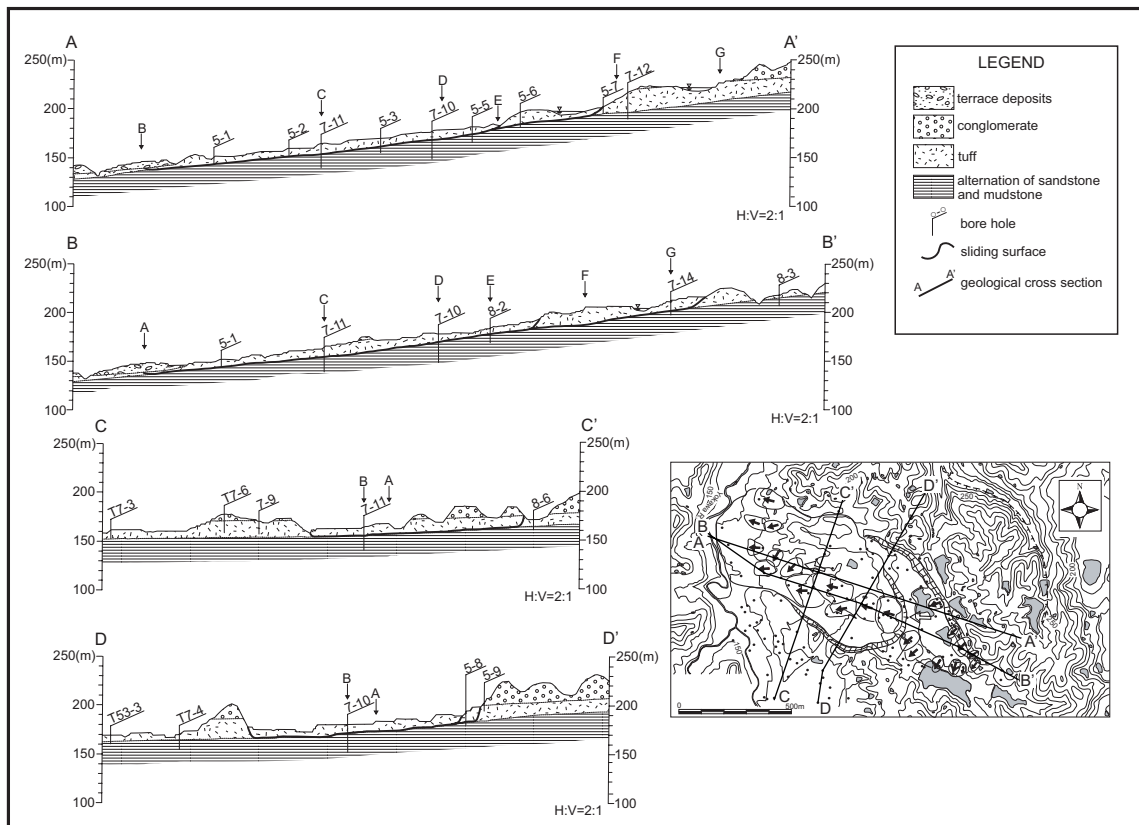
#### (1) アクセス

中国自動車道神戸・三田インターチェンジを出て、最初の信号を左折する。右手にキンピール神戸工場があり、工場に沿って直進すると「市原」交差点がある。その交差点を右折する(県道17号



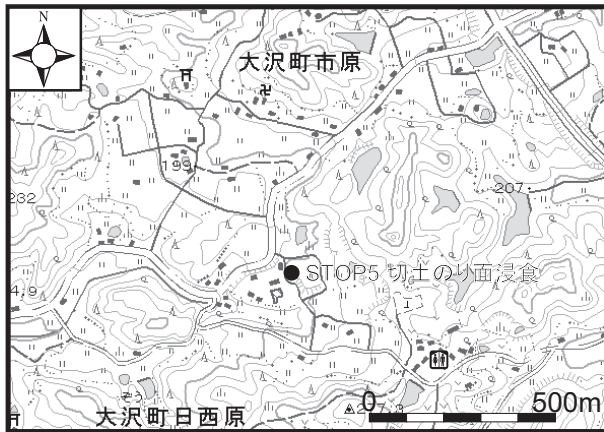


第13図 豊岡北地すべり周辺の地質図。



第14図 豊岡北地すべりの地質断面図。





第15図 STOP5の位置図(国土地理院発行1/25,000「三田」より抜粋)。

線)．道なりに800m程度いくと大きく左カーブする．そのカーブを曲がりきった左側に清原土木の足場材工場がある．その工場のすぐ手前の農道を左折したところに見える切土斜面が今回観察する露頭である(第15図)．

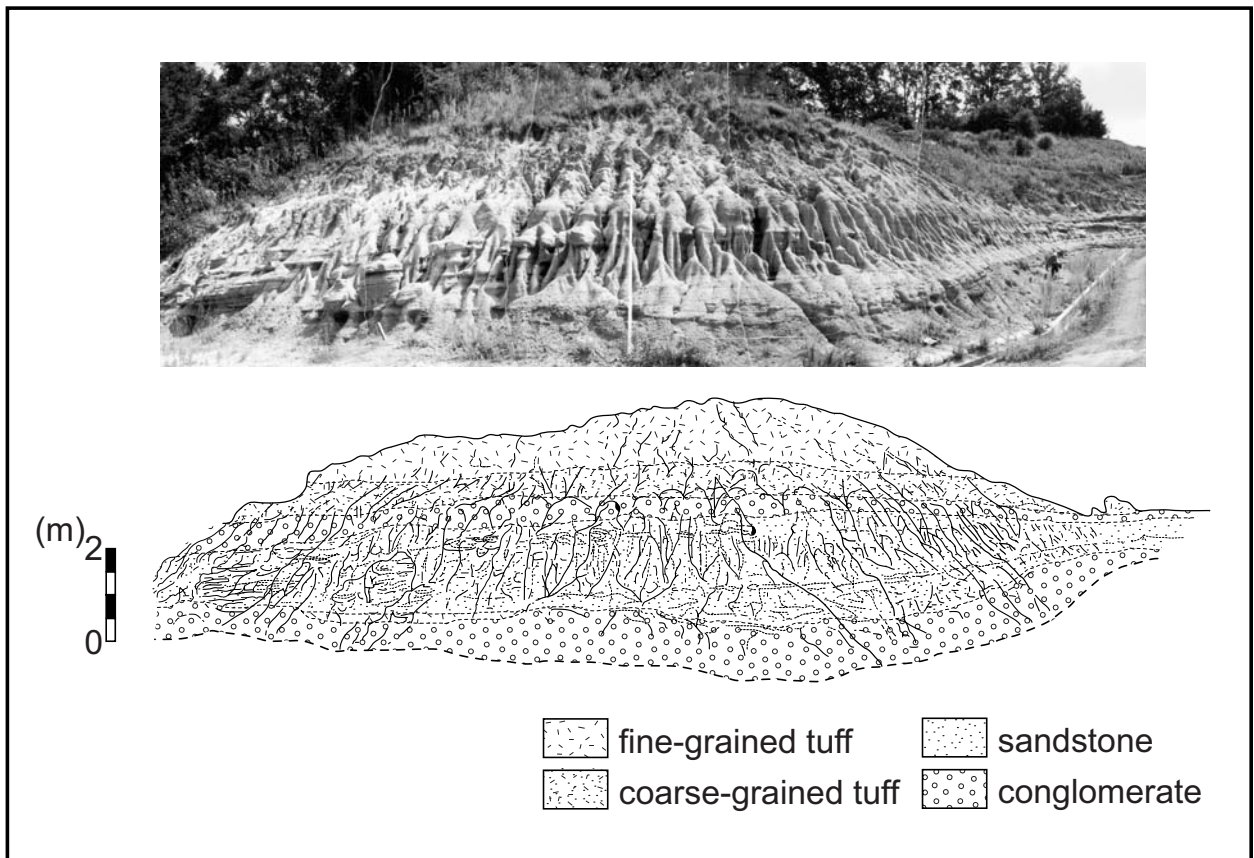
(2) みどころ

掘削によって切土斜面に現れた神戸層群は急速

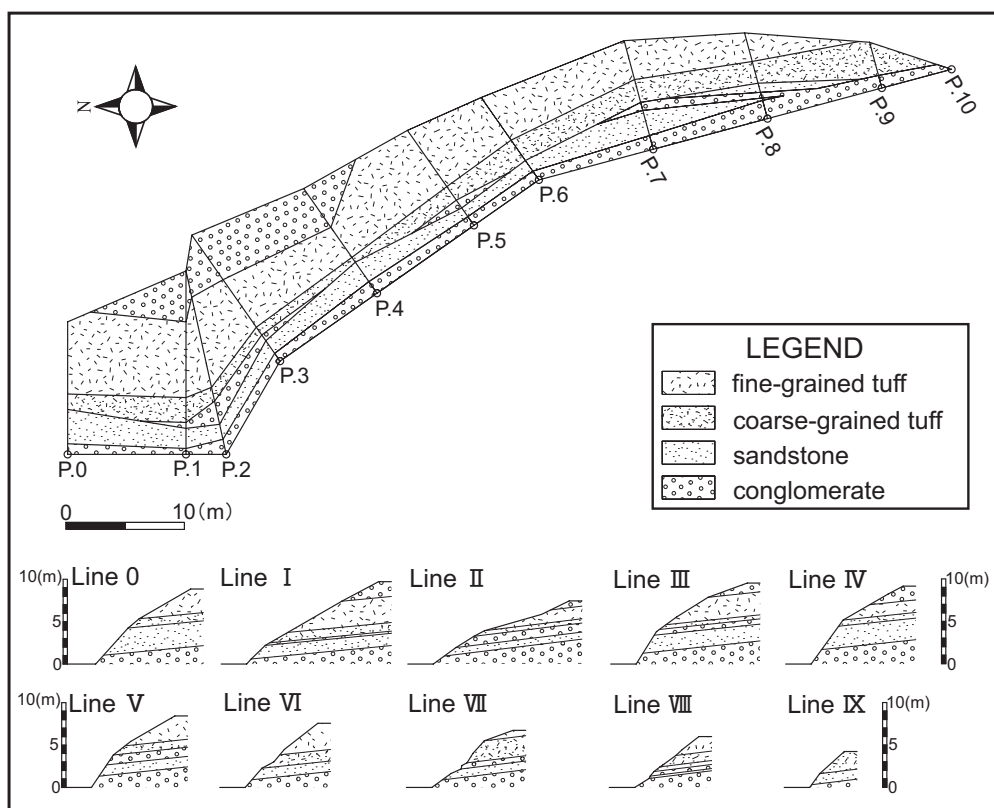
に劣化し、数年以内で地表面は削剥されてリルが刻まれる．そして、その浸食によって流出した土砂は容易に圃場の側溝や水田を埋めてしまうので、営農に支障をきたしている．

今回観察する切土斜面の斜面長は10～18mで、鉛直高は10m前後である(第16図)．斜面の地質は下位より礫岩層、砂岩層、粗粒凝灰岩層、細粒凝灰岩層、礫岩層で、ほぼ数m間隔で累重している(第17図)．これらの地層の一軸圧縮強度は岩相ごとに大きく異なっている．切土斜面は切土後10数年が経過しており、掘削時には1:0.8～1:1.0の勾配であったものが、現在は浸食されて著しく変化している(第18図)．

この露頭では、現在の斜面勾配やリルの発達程度・形態と岩相との関係、リルの形態と節理との関係などに着目すると、岩相(岩質)と節理が浸食速度や浸食形態をコントロールしている様子を観察することができる．



第16図 日西原農道切土のり面に発達するリル浸食の露頭写真およびスケッチ．



第17図 日西原農道切土のり面の地質と斜面勾配。

文 献

秋山晋二・伊藤雅之・中川 渉・今岡照喜・谷保孝, 2000, 神戸層群の凝灰岩の層序・岩石学的特徴からみた地すべりの素因. 第39回日本地すべり学会研究発表会講演集, 375-378.

廣田清治・佐々木一郎・谷岡健則, 1987, 神戸層群の地すべりと地形, 地質の関係(兵庫南部地区・吉川町). 島根大学地質学研究報告, no. 6, 119-130.

堀 治三郎, 1976, 神戸層群産植物化石 - 後期中新世神戸層群の研究 -. 日本地学研究会誌, 京都, 293p.

堀 治三郎, 1983, 神戸の植物化石. 神戸新聞出版センター, 神戸, 206p.

藤田和夫・笠間太郎, 1971, 六甲山地とその周辺の地質 - 5万分の1神戸市及び隣接地域地質及び説明書. 神戸市企画局, 58p.

藤田和夫・笠間太郎, 1983, 神戸地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 115p.

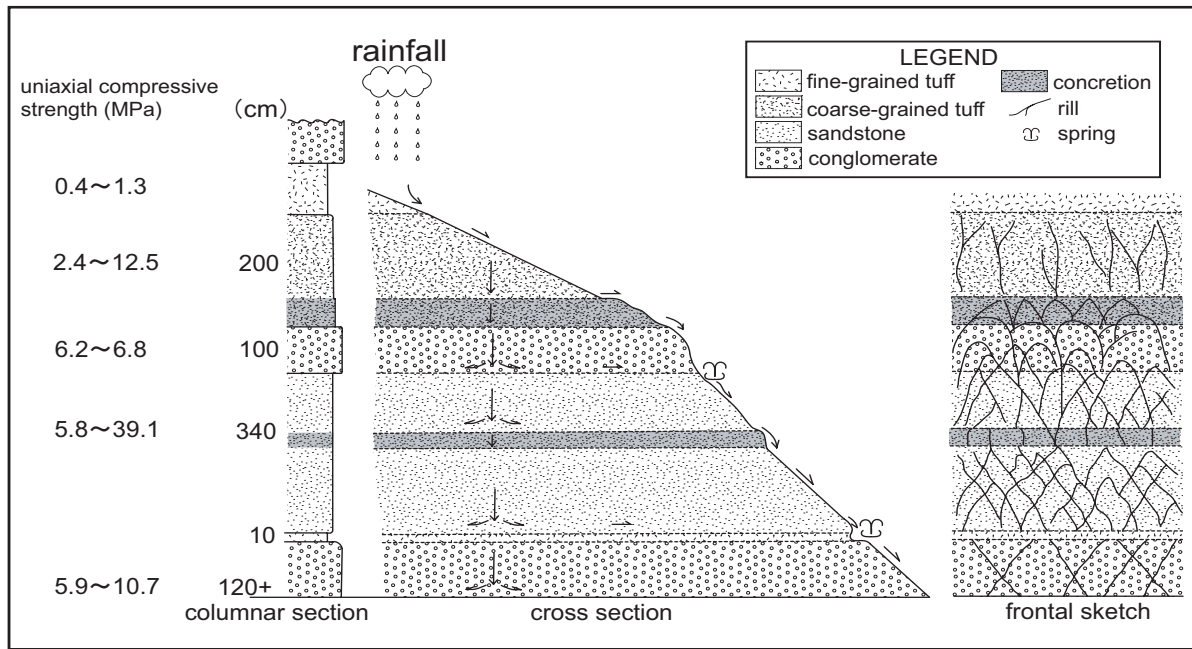
Huzita, K., Kasama, T., Hirano, M., Shinoda, T. and Yamashita, M., 1971, Geology and geomorphology of the Rokko area, Kinki district, Japan—with special reference to Quaternary tectonics—. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, **14**, 71-124.

池辺展生編, 1961, 17万分の1兵庫県地質産図及び説明書. 兵庫県, 171p.

今岡照喜, 1986, 山陰西部における古第三紀火成活動. 広島大地研報, no. 26, 1-109.

今岡照喜・井川寿之・北川隆司・横山俊治・秋山晋二・中川渉・加々美寛雄, 2000, 西南日本の古第三紀火砕堆積物と地すべり: とくに神戸層群の凝灰岩の噴出源について. 第39回日本地すべり学会研究発表会講演集, 373-374.

今岡照喜・松本崇雅・松里英男・松尾征二・飯



第18図 日西原農道切土のり面に発達するリルの分布様式と水文環境の模式図。

泉 滋・岩野英樹, 2003, 古第三系宇部層群中の凝灰岩のフィッシュン・トラック年代とSr同位体比. 地質雑, 109, 106-115.

Imaoka, T., Murakami, N., Matsumoto, T. and Yamasaki, H., 1988, Paleogene cauldrons in the western San-in district, Southwest Japan. Jour. Fac. Liberal Arts, Yamaguchi Univ., 22, 41-75.

今岡照喜・西村祐二郎・吉原和彦・田中盛正・加々美寛雄, 1999, 古第三紀宇部層群中の白岸凝灰岩の岩石記載とその噴出源. 地質学論集, no. 53, 393-401.

今岡照喜・大平 武・沢田順弘・板谷徹丸, 1994, 中国・四国地方における白亜紀~第三紀火成岩類の放射年代. 岡山理科大学自然科学研究所報, no. 20, 3-57.

加藤靖郎, 2000, 神戸層群西畑ラテラルスプレッドの内部構造. 第39回日本地すべり学会研究発表会講演集, 395-398.

加藤靖郎, 2004, 神戸層群西畑ラテラルスプレッドの塑性変形. 第43回日本地すべり学会研究発表会講演集, 497-500.

加藤靖郎・三好正夫・東 一樹, 1999, 第三系神戸層群の lateral spreads. 第38回日本地すべり学会研究発表会講演集, 431-434.

加藤靖郎・横山俊治, 1993, 軟質層の塑性流動による上載硬質層の斜面運動 - 第三系神戸層群内の地すべり地における事例 -. 第32回日本地すべり学会研究発表会講演集, 79-82.

川村喜一郎, 2003, 地すべりに伴う粘土質試料の磁気特性と微細組織 - 神戸層群の西畑・豊岡北地域の例 -. 深田地質研年報, no. 4, 69-75.

木村一成, 2002, 神戸層群白川累層中の普通輝石を含む苦鉄質凝灰岩の発見. 地球科学, 56, 289-294.

近畿農政局北神戸農地保全事業所, 2004, 平成15年度北神戸農地保全事業 地すべり総合検討業務(その5)報告書(国際航業株式会社).

北川隆司・地下まゆみ・秋山晋二・上村智, 2000, 神戸層群中のスメクタイトの鉱物学的キャラクター化. 第39回日本地すべり学会研究発表会講演集, 383-386.

松尾裕司, 1987, 神戸層群の化石を掘る(神戸の自然16). 神戸市立教育研究所, 138p.

松浦浩久・栗本史雄・吉田史郎・斉藤文紀・牧本 博・利光誠一・巖谷敏光・駒澤正夫・広島俊男, 2002, 20万分の1地質図幅「岡山及丸亀」, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

宮地六美・酒井治孝, 1991, 北西部九州, 第三紀層中火砕岩類のフィッシュン・トラック年代. 地

- 質雑, **97**, 671–674 .
- 村井政徳・加藤靖郎・横山俊治, 2003, 古第三系神戸層群内の地すべりにおける凝灰岩の貫入現象 . 日本応用地質学会中国四国支部平成 15 年度研究発表会発表論文集, 81–86 .
- 村井政徳・横山俊治, 2003, 神戸層群凝灰岩地すべりの構造 : 豊岡北地すべりの例 . 日本応用地質学会平成 15 年度研究発表会講演論文集, 303–306 .
- 村上允英, 1973, 古第三紀田万川陥没体の形成機構に関する一考察 . 地質学論集, no. 9, 93–105 .
- 中川 渉・谷 保孝・秋山晋二・今岡照喜, 2000, 神戸層群の地質構造と地すべりの関係 . 第 39 回日本地すべり学会研究発表会講演集, 379–382 .
- 中川 渉・谷 保孝・秋山晋二・今岡照喜, 2004a, 古第三紀神戸層群凝灰岩類の岩石学的特徴 . 第 43 回日本地すべり学会研究発表講演集, 487–490 .
- 中川 渉・谷 保孝・今岡照喜, 2004b, 神戸層群の凝灰岩の岩石学的識別手法を利用した凝灰岩の比較 . 第 43 回日本地すべり学会研究発表講演集, 303–306 .
- 尾崎正紀, 1999, 山口県北西部に分布する日置層群と油谷湾層群の FT 年代 - 特に伊上層の層序学的位置づけについて - . 地球科学, **53**, 391–396 .
- 尾崎正紀・濱崎聡志, 1991, 福岡県北部に分布する古第三系のフィッシュン・トラック年代 . 地質雑, **97**, 251–254 .
- 尾崎正紀・松浦浩久, 1988, 三田地域の地質 . 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 89p .
- 尾崎正紀・松浦浩久・佐藤喜男, 1996, 神戸層群の地質年代 . 地質雑, **102**, 73–83 .
- 酒井治孝, 1994, 北九州の下部漸新統, 津屋崎層中の恋ノ浦火砕堆積物 . 地質雑, **100**, 692–708 .
- 阪本龍馬・岩田英明・竹村厚司・西村年晴, 1998, 兵庫県加東郡東条町南西部における古第三系神戸層群の岩相層序および地質構造 . 人と自然, **9**, 9–18 .
- 鹿間時夫, 1938, 神戸層群と其の植物群 . 地質雑, **45**, 621–640 .
- 鈴木茂之・壇原 徹・田中 元, 2003, 吉備高原に分布する第三系のフィッシュン・トラック年代 . 地学雑, **112**, 35–49 .
- 谷 保孝・中川 渉, 2001, 古第三紀凝灰岩層の識別における記載岩石学的検討の有効性 - 兵庫県三田盆地に分布する異なった 2 層準の神戸層群凝灰岩層での例 - . 地球科学, **55**, 157–171 .
- 谷本喜一・池尻勝俊, 2001, 神戸層群 人為的要因による地すべり . 建設工学研究所, 神戸, 145p .
- Yasuoka, T., Kitagawa, R., Takeno, S. and Yokoyama, S., 1995, Mineralogical characteristics of smectite from the landslide area in the Neogene Kobe group, southwest Japan . *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, **10**, 487–505 .
- 横山俊治, 2003, 神戸層群の凝灰岩地すべり発生の地質的背景 . 断層研究資料センター第 16 回セミナー「近畿の謎の地層 - 神戸層群の諸問題」資料集, 37–56 .
- 横山俊治・田中英幸, 2000, 神戸層群の凝灰岩地すべりの総合的検討 - その目的と意義 . 第 39 回日本地すべり学会研究発表会講演集, 371–372 .
- 弘原海 清・ギェムヴ・カイ, 1994, 神戸層群凝灰岩のジルコン・フィッシュントラック年代 . フィッシュン・トラックニュースレター, no. 7, 38–39 .



神戸層群の凝灰岩と地すべり