

空中写真判読による山地の変形構造解析 ——比良山地のリニアメントと潜在大規模崩壊（その2）——

大 橋 健 *

* 立命館大学文学部

要 旨

空中写真判読から検出したリニアメントを、山地の地形発達史の過程で現出する各種のスケール、プロセスをもつ変形構造の空間的実態、広域テクトニクスとの関連のもとに考察し、地塊山地の山体崩壊の潜在的発生とその位置の特定を試みた。潜在大規模崩壊の発生、位置、規模、形状は急速に隆起する山地の変動地形的位置条件や山体を構成する花崗岩と堆積岩との岩質差と構造に規定されながら進行していることを明らかにした。

キーワード：リニアメント、サギング（山体崩壊）、潜在大規模崩壊

1. はじめに

山地斜面は崩壊の集合体であり、崩壊性の物質移動（マスマーブメントmass movement）による地形変化が活発である。山地斜面中には、成因、様式、規模、発達過程や時期を異にするさまざまな崩壊群が混在する。そのなかでも、大規模崩壊は湿润・島弧変動帯に位置するわが国の山地地形の特色の一つである。

大規模崩壊は山地地形変化の過程で果たす役割という視点のみならず山地災害・防災の見地からも注目される。大規模崩壊にともない流れ山、堰止め・天然湖が形成され、その決壊と土石流の発生、異常な河床上昇と水害など、2次、3次災害を派生する場合が少なくない。

大規模崩壊の多くは地震や火山活動などを誘因として発生し、主として豪雨に起因して発生する小規模な表層崩壊と性格を異にする。その発生周期は数百年から数万年以上におよぶ場合も希でない。また、多くの場合人口密度や開発密度の小さい山間部で、特定の条件（素因）を有する箇所（場）において発生する。さらに、大規模崩壊はさまざまな発展階程を有し、特に初生階程（潜在的大規模崩壊）の特定は防災上からも重要な研究課題と考えられる。

近畿中部の地塊山地において、すでに数例の大規模崩壊が報告されている。しかし、潜在的大規模崩壊という視点から、その特定に関してはこれまで

ほとんど注目されたことが無く、発生後の事後解析に終わる傾向が強い。

本稿では琵琶湖を含む近江盆地とその前縁部の背後山地である比良山地を事例として、リニアメントと潜在的大規模崩壊との対応を、地塊山地の地形発達史および広域テクトニクスとの関連のもとに検討する。

2. 研究方法

2. 1 研究方法

リニアメント（線状模様）は山体内部の劣化や不連続面と地表部（斜面）との会交現象であり、基盤の構造を示唆する重要な地形の配列線である。空中写真の実体視と判読により500メートル以上の規模のリニアメントを検出し、それらを規模（長さ）、形状、方位、発達位置などの組み合わせから類型化し、各タイプの分布特性と水系パターン、地形・地質条件、地殻変動との関連などについて図1に示した手順で検討した。

リニアメントには断層や破砕帯のように基盤に影響をおよぼす地殻運動によって生じた地形的差異を示す変動地形成起源、岩質の相違などによって生じた選択侵蝕や風化によって生じた組織地形成起源の2つのタイプがある。今回抽出したエリニアメントは主として前者に起因するものである。

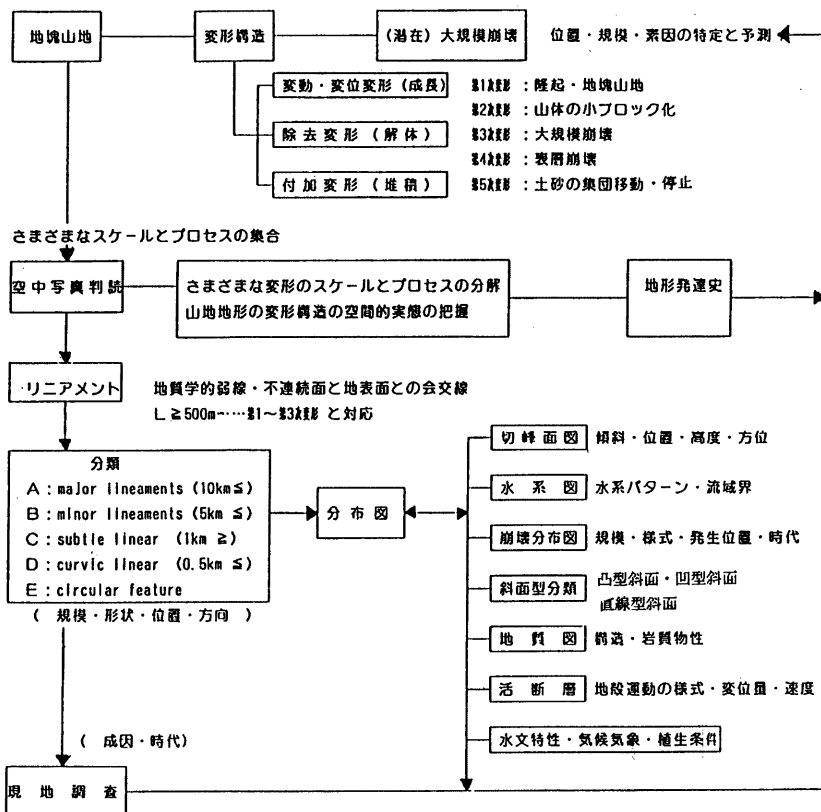


Fig.1 Flowchart showing the photogeologic analysis of deformation structure in mountain

判読には1947年に米軍が撮影した航空写真(縮尺1:40000、モノクロ)および1983年の衛星写真LANDSAT(縮尺約1:200000、カラー)を使用した。なお、リニアメントの検出・判読は武田・今村(1978)の基準によった。

2. 調査地の選定とその概要

比良山地は丹波高地の東端と東方の琵琶湖・近江盆地の結節部に位置している(図2)。そこは、「近畿三角帯」(藤田1962)の北西辺上という地形学的にも特異な位置を占め、近畿内帯で最も地殻変動の活発な地区である。山地の概要は北東-南西に約20キロ、東西幅約6キロで、Y字状の平面形を有する。東西両側は花折断層と比良断層に限られた直線状の急斜面からなるが、山頂部は1000メートル前後のなだらかな小起伏面-隆起準平原-が広がり

典型的な地塊山地である。最高峰の武奈ヶ岳(1214m)から釈迦ヶ岳を結んだ線より以北は高度が階段状に低下し、そこを境として南部比良と北部比良に分かれる。北部比良はさらに、鴨川の河谷を挟んで北比良(500~900m)とリトル比良(500~700m)に区分される。山地中央部には北東方向の凹地帯が延びており、そこを排水する明王谷の源頭部には鴨川により上流部を争奪された(池田1967)あとの風谷部に八雲ヶ原の湿原が発達している。

山地の西半分は砂岩、チャート、粘板岩、頁岩など中・古生代の堆積岩の互層から構成される。リトル比良から中央部の東半部、南端部の権現山周辺は中生代末に貫入した花崗岩と脈岩類よりなる。比良山地を調査地として選定したのは下記の理由による。

①近畿地方の代表的な地塊山地で。

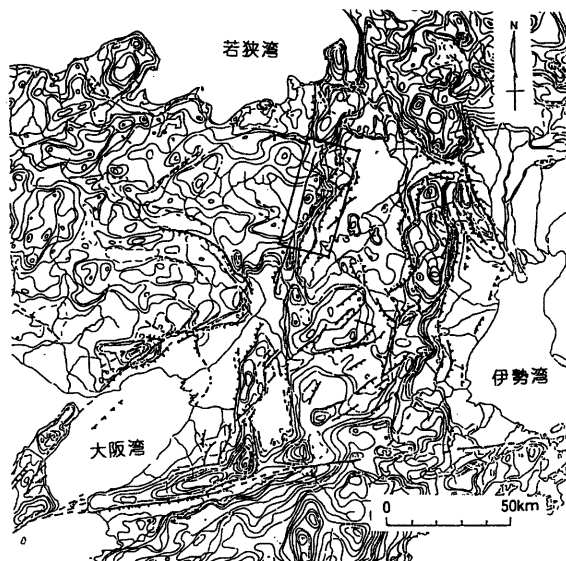


Fig.2 Map showing active faults and the summitlevel of Kinki district contour interval is 10 m, investigating area is shown in flame

- ②各種のリニアメントが卓越している。
- ③東西が火成岩（花崗岩）地帯と堆積岩地帯に分かれており、地質条件の差異を比較するのに好都合である。
- ④比高約1000m の東西両斜面が比較的単調で、侵食谷の規模が小さくリニアメントと山体崩壊の関係が検討しやすい。
- ⑤活断層密度が高く、変動が活発である。
- ⑥表層崩壊が多く、その分布が明かにされている。
- ⑦山地とその周辺地区に歴史大地震の記録が多く、町居の巨大崩壊（1662）など地震性の大規模崩壊や変状が発生している。

3. 結果と考察

3. 1 結果

山地の縁辺および内部において、各種の斜面を切るリニアメントが検出された。そのうち500メートル以上の長さのもののみを抽出し、さらに規模、形状、成因、位置などの組み合わせからA～Eの5タイプに分類し、分布図に示した（図3）。

3. 2 A～Cタイプのリニアメントと断層変位・変形および山地地形の変形構造の関連

この事項については既に報告済みであるが、その要約は次記のようである。

Aタイプのリニアメント分布から、北東方向に連なる地塊山地を東西に2分する比良中央断層（仮称）の存在が推定される。この断層を境にして北部比良山地は東落ち、南部比良山地は西落ちの傾動的隆起変形を示し、全体として礫層断層の可能性が高い。このような変形運動は東西圧縮に伴う急速な山地の隆起運動、東方に位置する琵琶湖の北湖盆の最近の急速な沈降、熊川破砕帯（熊川断層から南西へ北湖盆西縁を限る湖底断層群に連続する）の左横ずれ変位とも調和的であり、比良山地北部が北～東方へズリ落ちる形式で変形していることを示唆する。また、比良山地を特徴づけるY字状の平面形態の由来もこうした地殻変動との関連で説明できる。こうした地塊山地の概形を規定する、10キロ以上のオーダーのスケールをもつ変形を第1次変形とした。

山地の内部はBタイプのリニアメントで表現される数キロオーダーの胴切り型の横断断層系と数100メートルオーダーのD、Eタイプのリニアメントで表現される多数のブロック群により山体内部の変形が進行している。前者を第2次変形、後者を第3次変形とした。BタイプのリニアメントはNW-SE軸をもち比良山地の長軸方向に直角に交わり、中央部を頂点とする曲隆運動に起因する張力性開口断層線を示す。主接線の南北投影断面および一等水準点の検測結果、山麓部に発達する段丘面の変位傾向などからもそうした活構造が立証される。地塊山地を取



Photo 1 Aerial-photograph A : Southern fringe of Hira Range (by US Army, 3.Nov. 1947 scale is 1:40000, showing area agree with the frame **a** in Fig.3)

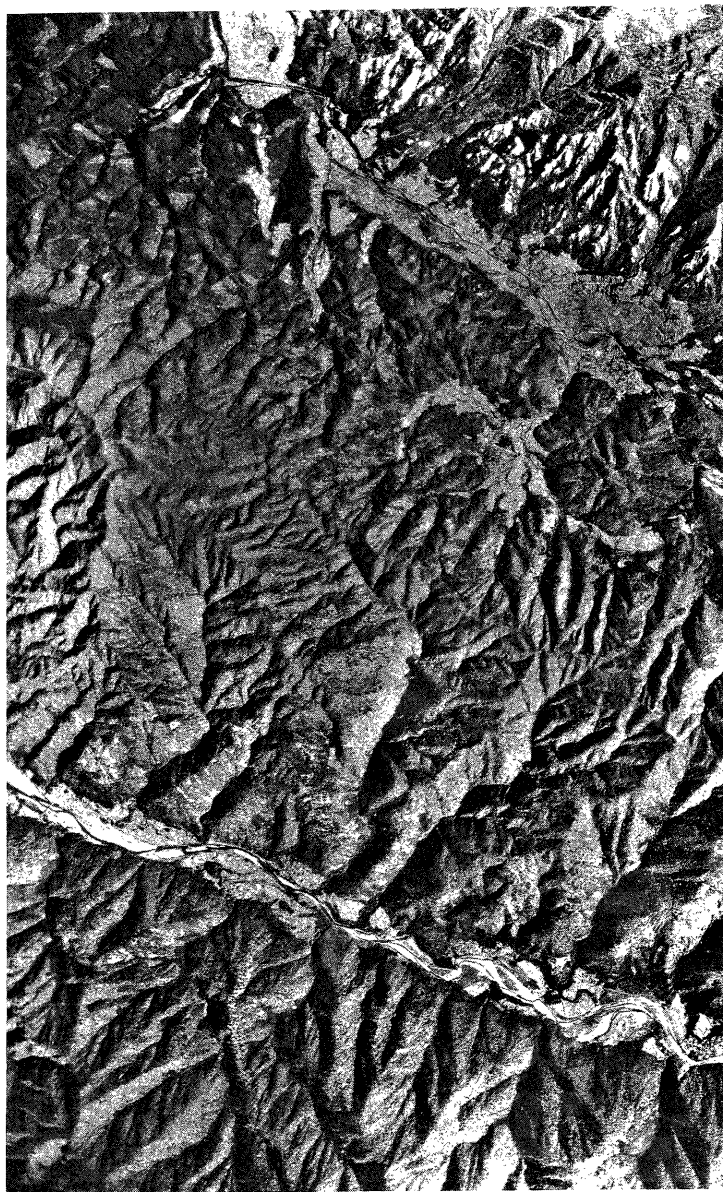


Photo. 2 Aerialphotograph B : Mt. Jataniga-mine and its environs, northern Hira Range. (by US Army, 3. Nov. 1947 scale 1:40000, showing area agree with the frame b in Fig. 3)

り巻く急斜面を必発的に発達する侵食谷の谷壁や源頭部の傾斜変換部（侵食前線）に集中的に発生する表層崩壊は上述の変形と発生位置、規模や深度、周期などが異なり、第4次変形として区別される。

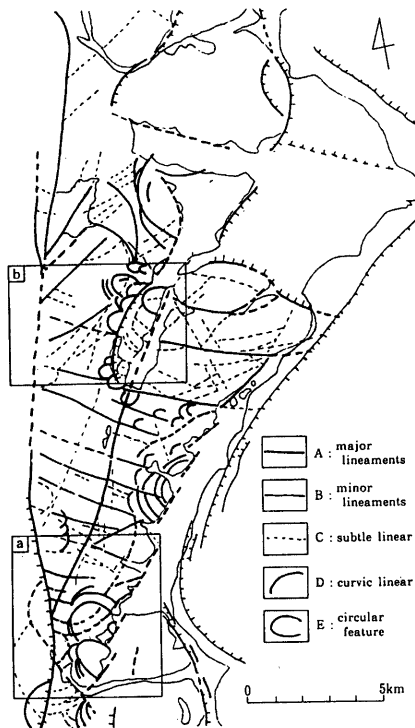


Fig.3 Map of lineaments pattern in Hira Range

3.3 D, Eタイプのリニアメントと山体崩壊

D, Eタイプのリニアメントは①山地の東側斜面に集中的に分布し（方位の特定性をもつ）、②稜線を横断または跨いで、流域に無関係に分布し、③斜面の上部のみならず中部から下部にかけても認められ（高度の分散）、連続性に乏しい ④大規模な円弧状滑りの初生的形状を暗示し、しばしば多重の円弧状配列をなしている。⑤活断層分布と一致することはほとんどないが、山地前縁の逆断層（境界断層）の活動により形成された大斜面（いわゆる断層崖）にほとんどが分布する。断層変位量大きい山地東側斜面（西側斜面の7倍前後）は斜面規模が大きく、複雑に破碎され、かつ東側に解放された地形場の条件をもち、そこに表層崩壊も集中していることから斜面の不安定性がうかがえる。①～⑤の特徴

よりこのタイプのリニアメントによって区切られる階段状起伏の成因は単純な溪岸侵食型崩壊でも、時代を異にする侵蝕作用に起因する山麓階的なものでもない。また、階段断層に起因するケルンコル（断層鞍部）列を指示しているものとも判断しにくい。

しかし、その成因が山体の成長やテクトニクな変形と緊密な関わりをもつことは否定できない。

地塊山地の急速な隆起にともない山体を構成する岩盤内部の圧力の拘束解放の結果、山腹斜面のはらみ出しと重力性の岩盤クリープが発生し、表層部でのスラブ、ブロック化した岩盤が円弧型滑りあるいはトッピング型の変形を生じたものであると見なされる。すなわち、山体深部に発生したテクトニクな断層に規定されたものではなく、むしろ山地の急速な上昇にともなう2次的な山腹自由斜面での、応力の解放と重力による大規模なトッピング（前方転倒型崩壊）や岩盤クリープの伏在を示唆するものであろう。このタイプのリニアメントが示す地形の特徴を大規模崩壊（山体崩壊）－サギングの素因となる地形・地質構造を反映するものとみなすなら、崩壊の前兆現象または潜在大規模崩壊であると位置づけることができる。そして、岩盤クリープの長期的継続を指示する現象であると考えてよい。地塊山地の成長（第1次変形）と不可分であるD, Eタイプのリニアメントは地震時の震動（慣性力）を誘因として加速的に拡大する可能性をもつ。前面の湖底急斜面において乱堆積層の検出とその火山灰年代測定結果との照合から6300y. BP以降に震度Ⅳ以上の地震が約80回発生したことが推定されている（公文富士夫ほか1992）。寛文二年1662地震をはじめ歴史大地震とそれともなう大規模な地震の記録（奥田節夫他1992、大長昭雄1982、寒川旭他1987）

が示すように湖西地区は近畿地方でも最も地殻変動の活発な地区である。比良山地と琵琶湖湖盆の境界断層である比良断層直下での基盤の深度は－1000メートルにもおよび（池田ほか1995）、この断層活動によって形成された比高約2000メートルの急崖（いわゆる断層崖）のなかで先述の潜在大規模崩壊群とそれを反映するサギングが進行している。そうした現象は第四紀中期以降の広域テクトニクスに規定された琵琶湖西岸の歪帯の形成と不可分であろう。

3.4 D, Eタイプのリニアメントと潜在大規模崩壊

本地区に卓越する潜在大規模崩壊は基本的には2つのタイプに分類される。

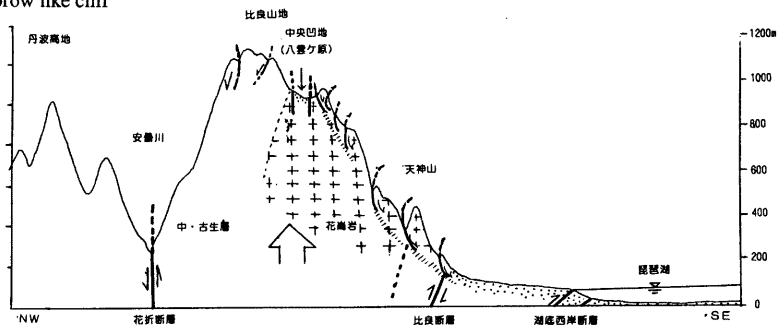
- ①円弧状滑り型：長池周辺、権現山周辺（写真1）、蛇谷ヶ峰・入部谷・畑盆地の西側（写真2）

図中左方の安曇川支流と右側東方の明王谷との分水嶺（A）が南北に走っている。それに平行して、西側に明瞭な傾斜変換線（F）が認められる。急崖帯の向きは西方、長さは約1キロ、比高は10～20m、最大で40m前後。崖の平面形態は切りあった複数の眉状模様の特徴をもつ。こうした特異な形状よりこの崖は活断層崖ではないと判断される。すなわち、幅約200mのブロックが西方へ滑動したために形成された滑落崖であろう。

②トップリング型：中央部の堂満岳東稜線－天神山、南縁部の権現山周辺から霊仙山付近などの花崗岩地帯、花崗閃緑岩地帯に卓越するグループ。



A: present divide B: Past divide C: present valley systems D: past valley systems E: wind gap F: eye-brow like cliff



— 241 —

そのほかカラ岳、打見岳南方、木戸峠北方、ヤケオ山山頂北側など山地内の数箇所と同様な事例が確認される。

このタイプには稜線を横断して、斜面の最大傾斜に斜交しながら、鎖状に連なり、全体として大規模な円弧を描くものと尾根線が山向き小崖群により階段状に低下するものがある。いずれも小さなブロックまたはスラブとその転倒（前方回転）を示すもので、連続性、高度の分散状況から判断して、河谷・水系の発達との直接的関係は認められない。

逆断層に規定される東側の、比高約1000メートルの自由斜面（比良断層層）のなかの上部のみならず中部さらに下部にかけても発達している、花崗岩地帯に顕著である、数100メートルから1キロ以内の比較的小規模なブロックの集合をなしていることなどが注目される。山地中央部の山頂直下の急崖部では花崗岩の巨大なスラブとその屈座現象が各所で観察される。上記の特徴は花崗岩の塑性変形特性と緊密に関わるものと推定される。

比良山地中央部の東西地形断面と潜在大規模崩壊の発生、位置およびタイプを図5に要約して示した。比良山地の潜在大規模山体崩壊の崩壊深度は斜面長や面積の規模からみて数10～100m程度を最大とするもので、発生機構としては岩盤クリープにともなう重力性断層の可能性が大きいと思われる。

4. 結論

① 比良山地では変動・変位変形が顕著であり、崩壊現象（除去変形）に大きな影響を与えている。写真判読により、それらの実態を効率よく掌握することができた。

② 比良山地の変形は広域テクトニクスと対応した山地の成長と概形を規定する第1次変形、山地内部を小ブロック群に分割する第2次変形、および地殻運動に素因をもつ大規模崩壊などの第3次変形、そして豪雨など外部環境に誘因をもつ小規模な表層崩壊群の発生による第4次変形、さらに崩壊物質の移動・堆積による変形―第5次変形と異なるスケール、地形プロセスが同時に、しかも同空間で重畳しながら進行している。

③ 第3次変形については写真判読、特にリニアメントの解析によりその潜在的発生の位置やタイプの特定が可能である。比良山地で検証した問題は近畿の多くの地塊山地群にも共通して認められると考えられる。今後、防災面からもこのような潜在的大規模崩壊の組織的な調査が望まれる。

④ 本報告は空中写真判読を主な手段としたもので

あり、今後、現地調査による検証が必要である。

謝辞

有益なご教示と議論をしていただいた奥西一夫教授、千木良雅弘教授および傾斜地保全、山地災害環境両分野の諸先生方、院生ゼミのみなさんに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 池田碩 (1967) : 比良山地の地形学的研究序説、東山学園紀要、12・13合号集、pp.123-141.
- 井上頼鑽(1987) : 比良山地の崩壊分布（その1）, 京都学園大学論集、第16巻、第3号、pp.166-193.
- 植村善博・太井子宏和(1990): 琵琶湖湖底の活構造と湖盆の変遷、地理学評論、63, pp.722-74
- 大橋健(1971) : 比良山地北縁部の段丘と崩積層、地理学評論、44-2.
- 大橋健他(1979): 近江盆地の地形、「滋賀県の自然」、滋賀県自然保護財団、pp.1-11.
- 大橋健他(1991): 滋賀県・近江盆地の地形、「滋賀県自然誌」、滋賀県自然保護財団、pp.105-29.
- 大橋健他(1996): 志賀町の自然環境、志賀町史、第一巻、pp.9-49.
- 大橋健(1982): 地形からみた花折断層、地学団体研究会京都支部、シンポジウム最終水期から現在までの京都盆地―地質学と考古学との接点をめぐって、pp.11-17.
- 大橋健 (1998) 空中写真判読による山地の変形構造 解析―比良山地のPhotogeologic lineamentsと山体崩壊―、大阪経済法科大学科学技術研究所年報、第2号、pp.55-71.
- 奥田節夫他(1986): 琵琶湖西岸における過去の崩壊に関連した湖底地形調査（序報）、京都大学防災研究所年報第29号B-1,35, pp.335-365.
- 奥村由彦他(1972): 滋賀丘陵の変形に関する2・3の考察、法政大学地理学集報、No.1, pp.29-39.
- 寒川旭・佃栄吉(1987): 琵琶湖西岸の活断層と寛文2年(1662年)の地震による湖岸地域の水没地質、ニュース、390, pp.13-17.
- 活断層研究会(1991): 新編日本の活断層―分布と資料―、東京大学出版会.
- 大長昭雄(1982): 寛文二年の近江の地震、萩原尊礼編「古地震」、東京大学出版会、pp.203-230.
- 東郷正美(1971): 養庭野台地の変形について、地理評、44、pp.194-200.
- 東郷正美(1974): 琵琶湖北岸、野坂山地の変動地形、地理評、47, pp.669-683.

田中真吾(1979): 微細リニアメントと割れ目との対応関係、神戸大学教養部紀要、23号、pp. 1-26.

田中真吾 (1976) : 空中写真から検出される微細リニアメントとその対応物についての予察の調査結果、神戸大学教養部紀要、17号、pp. 1-16.

内藤博夫(1979): 近畿地方における高位置小起伏面の分布について、奈良女子大学地理学研究報告、pp. 101-117.

武田裕幸・今村遼平(1978): 「建設技術者のための空中写真判読」、共立出版、pp. 65-83.

辻村太郎(1929): 「日本地形誌」, pp. 192-194. 中

村新太郎(1928): 花折断層の予察、地球10、pp. 32 7-335.

西田史朗他(1993): 近畿地方へ東から飛んできた縄文時代、晚期火山灰層の発見、第四紀研究32、pp 129-138.

林隆夫(1974): 堅田丘陵の古琵琶湖層群、地質学雑誌80、pp. 261-276.

藤田勇雄,(1951): 丹波高原の切峰面図と東南部の地形的の2、3の問題、趣味の地学、第5巻、第1号、pp. 46-54.

Hujita,K(1962):Tectonic Development of the Median Zone(Setouchi) of Southwest Japan, since the

Miocene,with special reference to the characteristic of Central Kinki Area. Jour. Geosciences,Osaka city Univ. ,Art,4,pp. 104-144.

古谷尊彦・奥西一夫・石井孝行・藤田崇・奥田節夫(1984): 地震に伴う歴史的大崩壊の地形的解析、京都大学防災研究所年報、第27号B-1、pp. 387-396.

平野昌繁(1971): 空中写真でみる地形災害—歴史的大災害(その1)—、京都大学防災研究所年報、第24号B-1,pp. 449-460.

松田時彦他,(1993): 琵琶湖の湖底断層のユニーク調査、活断層研究 5 pp. 23-29.

水山高幸,(1952): 丹波山地の面について、京都学芸大学学報、A-2,pp. 49-61.

水山高幸,(1960): 尾根起伏の計測による丹波山地の面の吟味、京都学芸大学学報、A-9,pp. 27-40.

見野和夫(1994): 琵琶湖の地殻構造、「琵琶湖地域の総合的研究」、思文閣、pp. 43-52.

村井勇・金子史朗(1975): 琵琶湖周辺の活断層系、地震研究所彙報、50、pp. 93-107.

吉岡敏和(1986): 花折断層の変位地形、地理学評論 59-4,pp. 91-204.

吉田鎮男(1995): 花折断層とその活動性、地質ニュース489号、pp. 6-16.

Photogeologic analysis of the Deformation Structure in Hira Range, Central Kinki District, Southwest Japan.

Tsuyoshi OHASHI*

*Department of Letters, Ritsumeikan University

Synopsis

The aim of this paper is to describe lineaments pattern, and forecast the site and type of potential-large slope movement in Hira Range.

The results of research are summarized as follow:

1) Main lineaments which interpreted from aerial-photographs, in the range is shown Fig.3.

The author classified them into 5 types, as A,B,C,D, and E-type.

2) A,B, and C-type of lineaments are controlled by tectonic movement, formed under compression stress in up-building process of the range.

3) From examined with the drainage pattern, extent, locality, active fault, slope type and direction, he obtain a understand, D and E-type lineaments have close relations to sagging, derive from release of stress in basement rock which compose the surface of the range. It seems a sign of large slope movement.

4) Saggings are recognized on both side slopes of the range, and it makes progress difference in type and size. Numerous Toppling-type of deformations are dominant in the east half of the range, composed granite.

Sliding type deformations progress in the west-half of the range, composed the Paleo-Mesozoic Sedimentary rocks. The influence of bedding structure of rock is clear.

5) Tectonic displacements are very dominant in Hira Range and its surroundings and the influence to large slope movement is very close.

Keywords : lineament ; Sagging ; potential-large slope movement