新潟県東山背斜の地すべりとテクトトープ⁺

Tectotope of Landslide Area in the Vicinity of Higashiyama Fold Zone

寺川俊浩* 和久紀生* 西田彰一**

Takahiro TERAKAWA, Toshio WAKU, Shoichi NISHIDA

Abstract

The purpose of this report is to discuss the origin and mechanism of landslides in the vicinity of Higashiyama fold zone from the tectonomechanical standpoint. Northern part of Higashiyama anticline is represented as the asymmetrically overturned anticline, because, the west limb has steep dips and the east limb has gentle dips.

Here the landslides occur at the different areas. One is the eastern limb and the syncline area, where the origin of landslides is considered solely due to physical and chemical properties of rocks.

On the other hand, the southern part of Higashiyama anticline is symmetrical, and both limbs have high angles, where landslides occur intermittently along the anticline axis. We concluded that it is based mainly on the structurally disturbed anticline.

まえがき

新潟県長岡市の東方に、南北 30 km 以上にわたり連続して追跡される東山背斜は第 1 級の規模の褶曲である。この背斜地区は新潟県下でも有数な地すべり多発地帯である。地すべり現象が、地すべり地を構成する地質条件、なかんずく原因（素因）として岩質と地質構造とに規制されるということはしばしば論じられている。

しかし、このような考察のなかで、原因が岩質にあるとか、否そうではなく地質構造に関係するとかいう論理が一般に行なわれるが、これは、いわば感性的な発想であり、本質的な必然的な関係を見抜いていないといっても過言ではなからう。筆者らは東山背斜地区の地すべり群について主にその構造解析から推考し、特異な地質構造の環境（テクトトープ Tectotope）に規制されて発生したものであるという見解をここに論ずるものである。

本文を執筆するにあたり、特に構造物理学的観点から御教示を賜った新潟大学・植村 武教授に感謝の意を表しなければならない。また、本論のなかで若干言及するところがある岩石物性の実験結果については、（株）日さく・新潟支店の近藤昌敏氏の労によるものであることを付記しお礼申し上げる次第である。

1. 東山背斜の構成地質と性格

新潟平野、長岡市の東方にある標高 600 m 前後の起伏

にとんだ山地には“東山背斜”と呼ばれる背斜構造がほぼ稜線に沿って NNE-SSW 方向に発達している。地質学的には 1930 年代の頃から東山背斜がどのような過程で形成されたものであるか、その成因・機構について論議されてきた。これらのうち、古くは木村一蔵（1930）や高橋純一（1938）によって代表される説によれば、外見からの形態だけに基づいて背斜形成の成因を横圧力によるものであるとした。最近では槇山次郎（1978）も褶曲の成因を座屈褶曲に求め、水平圧縮によってできたものであることを主張している。一方、金原均二（1950）は新潟油田の地質を総括した論文のなかで、油田の褶曲が横圧力によって短縮したものとは考えられないとしている。最近では小玉喜三郎（1974）の研究では、スケール・モデル実験の結果をもあわせて、東山背斜の形成は主として基盤のブロック状差別昇降運動に基づくものと説明している。このようにもともと地層の褶曲の成因については、曲げ bending か座屈 buckling によるかという全く対立した 2 つの説明が行なわれている。

さて、このような迂遠とも思われる叙述をあえて筆者らがこころみる所以は、実は地すべりの発生は基本的には、褶曲の形成にともなう岩石物性の変化（後生的な因子）が素因のルーツと考えられるからである。

1) 東山背斜の構成地質

東山背斜とその周辺を構成している地層は、新第三紀の寺泊層、椎谷層、西山層、灰爪層などである。寺泊層は暗灰色泥岩を主とし、薄い凝灰質砂岩を挟み背斜の中核をつくっている。この部分は東山背斜の極隆部にあた

*（株）日さく新潟支店

**新潟大学名誉教授

† 地すべり学会第 18 回研究発表会において発表

写真-1 猿倉岳付近より東山背斜東翼を眺望する

図-1 東山背斜周辺の地質と地すべり分布図

り地質構造的には荷頭背斜（東側）と東山背斜（西側）に分岐するところである。この付近には寺泊層の下の七谷層上部の地層がわずかに露出する。権谷層は西翼と東

翼とでは岩相の上でかなり様相を異にしている。すなわち、本層は西翼では栖吉川上流の露頭に見られるように、石英安山岩凝灰角礫岩・安山岩凝灰角礫岩を主体と

し、凝灰質砂岩・泥岩互層を介在する。最下部には灰白色の凝灰質砂岩が発達している。また火山碎屑岩類が占める厚さも 1,400m と最も厚い地区に相当する。

一方、東翼では寺泊層から凝灰質砂岩・泥岩の互層帯をへて、その上に同層位の石英安山岩または安山岩質火山碎屑岩が重なっているが、中部には一部に泥岩や砂岩を挟む地層が発達する。西山層は灰色泥岩・帯緑灰色泥岩といったような典型的な grey shale を主体とし、下部には薄い凝灰角礫岩・凝灰質砂岩を介在する。また、ところどころに非常にルーズな細礫を混える砂岩を帯状に挟有するが、この砂岩は細粒礫岩に移化する。

灰爪層は基底に礫石が発達し、全体として厚い帯緑灰色砂質泥岩と砂岩との規則正しい互層である。

2) 東山背斜の性格

東山背斜は、NNE-SSW 方向の軸を有し、北端は見附市の東部から南へ鋸山を経て、川口町高場山付近で沈入する長大な背斜である。この背斜は北部では西翼が直立ないし逆転するといったように急傾斜するのに対し、東翼は緩い傾斜のいわゆる片面箱型の形態を示す。また、東山背斜の極隆部から分岐し、栃尾へ向って約 10km にわたり荷頃背斜が併走するのが東山背斜の特徴の 1 つである。一方、東山背斜の東方、破間川の左岸地区は古い基盤岩類が露出する隆起帯となっているが、この隆起帯と東山背斜に挟まれた地区は、全体としては緩い大きな向斜構造をつくっている。そのなかには短軸の背斜が 2 列発達する。この地区に地すべりが多発しているのは地

図-2 東山背斜鋸山付近の地質・断面図 (島田忠夫ほか, 1974)

質構造的に注目すべき現象である。一方、東山背斜の西側の平野部には幅の広い低平な大きい向斜が発達する。以上述べたところは東山背斜周辺の地質構造の概観である。

さて、褶曲が発達する過程においては、地層の傾動や伸縮にともなって、地層のなかに各種の小構造（断裂）が形成されるが、ここで重要なことは、小構造の形成は褶曲の発達過程と密接な関係を有しているという点である。それは地層が褶曲する過程で、地層を構成する物質が褶曲内部における応力とひずみ分布を反映し、それぞれの位置に変形・破壊構造を刻印するからである。すなわち、東山背斜に発達する小断層の種類や転位の規模・形態などには、東山背斜の形成機構を直接反映すると考えられるいくつかの物理的特性がみとめられる。このような意味から東山背斜の性格、つまり力学像・運動像・ひずみ像をよく理解しておくことが必要である。前述したように褶曲ができる成因については、今日曲げか座屈かどちらかによるとする対立した2つの説明がある。このような東山背斜の成因という問題は本論の主旨からあまりにも地質学的内容に片寄り過ぎるのでこれ以上に立入って論ずることをひかえることにしたい。曲げと座屈は力の作用方向が全く異なるから、地質学的な変形機構としてはもちろん区別して取扱わねばならないけれどもそれはともあれ、地すべりという現象に直接関係があると思われるのは背斜構造のなかに刻印された変形や断裂のような小構造といったような具象的な構造要素であることを指摘しなければならない。

東山背斜付近の椎谷層や西山層のなかには転位量が数cmの小断層から10数m以上におよぶ規模の大きなものまで多数の断層が発達する。小玉喜三郎・樋口茂生（1974）によれば、表-1のように5つのタイプの断層系統に分類される。これらの断層のうちA系統のものだけは断層

面が固結した断面であるが、他の断層系はいずれも面が開離している。また背斜軸に対して縦走性（B、C、E系統）の断層は比較的直線状に走る場合が多いが、胴切性のD系統断層は節理が雁行したタイプを示す。なおE系統の正断層の分布する区域がほぼ東山背斜の頂部付近に限られているが、逆にB系統やC系統の断層はこの部分には見られずに、急傾斜の背斜翼部に限って観察される。

さて、これら各系統の断層の形成時期には前後関係が観察されるが、この地域の主要な断裂が、後期魚沼期以後のかなり新しい時期に生じた著しい褶曲の成長と時間的に前後して発達したものと推定され、特に第四紀魚沼期後の時代に最も大規模に発達したと考察されている。このことは後に論ずるように、地すべり発生の原因に関しても関視することができない問題であるといえる。

さて、東山背斜は前にも述べたように、形態的には片面箱型背斜とみなすことができる（図-2）。すなわちこの型の背斜の構造は断面図にうかがわれるように西翼が急、東翼は傾といったように非対称的背斜を形成する。しかし、この形態は背斜の北部にみられるもので、東山背斜の南部になると両翼ともほぼ同じ傾斜を有する対称的背斜となっている。また、地すべりの分布を概観しても北部ではむしろ東翼に多く、南部では背斜軸部に集中しているという特徴的な傾向がある。すなわち、背斜北部では位置的に背斜軸からは離れた場所に、むしろ向斜部に多く発生しているという現象がみられるのに対し、虫亀・下寺などの地すべりは軸部に沿って分布している点で注目される。昭和55年4月7日、虫亀地すべりに隣接したところで発生した地すべりも構造的立場からすると軸部に近い地すべりと見做すことができるとともに、おそらく背斜軸に沿って走る断裂線が素因である可能性がある。一方、前にも述べたように東山背斜は極隆

表-1 東山背斜周辺の断層系

断層系		走向・傾斜	転位	転位の量	断層面の特徵	分布と頻度	共 役 性
古 期	A	胴切・低角 または 縦走・高角	正断層 または 逆断層	比較的小規模 (数 cm～ 数十cm)	完全面なし、黒すじ状 直線性乏しい 馬のしっぽ状に枝分れ	頻度まれ	共役性まれに識別
	B	縦走・低角	逆断層	比較的小規模 (10～30cm)	開離 直線状 枝分れ少ない、平行に発達	背斜翼部に分布 頻度まれ	背斜方向へ上盤の転位 するセンスが多い、共 役関係みとめられない
新 期	C	縦走・高角	逆断層 一部 正断層	大規模 (数十cm ～十数m)	開離、鏡肌よく発達、直線状 ないし大きく湾曲、連続性良 好、二次節理伴うことある	背斜翼部に発達 頻度比較的高い	背斜ブロックの上昇す るセンスのものが多く 識別される
	D	胴切・高角 または 胴切・低角	正断層 一部 逆断層	小規模 (0～10cm)	開離、さび物質充てん 直線性・連続性乏しい 雁行、並行して発達	頻度高い	同一露頭で共役関係に あることが多い σ ₁ : 水平・縦走 σ ₂ : 回転することある
	E	縦走・高角	正断層	比較的小規模 (10～20cm)	開離 直線性・連続性乏しい 雁行、並行して発達	背斜頂部付近に 発達、頻度高い	同一露頭で共役関係に あることが多い σ ₁ : 水平・胴切 σ ₂ : およそ水平

小玉喜三郎・樋口茂生（1974）

部の鋸山付近から分岐して走る荷傾背斜が発達するが、この背斜は規模は小さいが対称的背斜といえる。そして、荷傾背斜の地すべりは矢津地すべりによって代表されるように、やはり軸部に沿って発生している。

ところで、新潟平野西辺の丘陵地帯にはほぼ海岸線に平行に走る中央油帯背斜と呼ばれる背斜が発達している。この背斜は延長が30km以上にも及び、直線的に延びているが、両翼が急傾斜し、西側にわずかに逆転するような過褶曲をつくっている。地すべりはこの背斜軸に沿って集中的に発生しているのが特徴である。これは東山背斜の南部に発生した地すべりと背斜軸との関係に類似しているという点を指摘できる。つまり、東山背斜南部の地すべりの多くは構造的条件が主因であって、西田彰一、岩松 暉 (1976) のいう構造的な地すべりの範疇に含まれるべきものと考察する。これに対してこの背斜の北部付近の地すべりは背斜の性格からすれば、むしろ岩質性地すべりといえる。すなわち、東山背斜の性格には2つのパターンが存在するものと思われる。そしてこれに加えてさらに注目すべき現象は、東山背斜にしろ、中央油帯背斜にしてもともに近年の水準点変動から推定すると活褶曲といえることである。なお、活褶曲と地すべりとの関係については後に述べたい。

2. 地すべりの分布と地形・地質環境

1) 地すべりと斜面傾斜との関係

東山背斜周辺における斜面の傾斜度は5万分の1地形図をもとに、地すべり地内の最高標高と最低標高を求めその間の水平距離との関係から傾斜度を求めた。図-3は東山背斜地区の斜面の傾度に対応する地すべり箇所数の頻度分布を求めたもので、背斜の東翼と西翼および地区全体に分けて表現したものである。

まず、この地区全体の傾向をみると斜面傾斜度 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$ に対応する地すべり箇所数が31%と最多を占め、 6° から

12° までの斜面傾斜度でいうと地区全体の67%の割合を示している。また 6° 以下あるいは 12° 以上になると地すべり箇所数はきわめて少なくなる。永田 聡ら (1974) によれば新潟県下の地すべりは斜面傾斜度が $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ の範囲に全地すべり地の65%が含まれ、 20° までを含めると80%以上になるとしているが、東山背斜地区に限ってもこれとおおむね同じような傾向がみられる。

次に、地すべり地を背斜の東翼と西翼とに分けて、それぞれの斜面傾斜度に対応する地すべり地の頻度分布を比較してみると両者の間にはある程度、特徴的な傾向があることが指摘できる。すなわち東翼では 6° 未満が8地区、 $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ が32地区、 $12^{\circ} \sim 22^{\circ}$ が7地区に対して、西翼では 6° 未満が3地区、 $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ が40地区、 $12^{\circ} \sim 20^{\circ}$ が14地区になる。このような相違はもちろん東緩西急という地形的要素によるものであろうが、その根底には両者の地質構造の本質的差異という東山背斜の性格の問題が潜んでいるということを洞察しなければならない。また、当然ながらこれに加えて西翼部を構成する地層の岩質的相違をあげることができる。ただここに強調しておきたいのは、種芋^{なすはら}原地すべりによって代表されるように、東翼部における局所的な造盆状構造^{なすはら}がそのまま地形に反映(規制)され地下構造と地形という2つの因子とがあいまって水理学的環境をつくっていることが地すべり発生の起因となっているということである。

2) 地すべりと谷密度との関係

東山背斜地区と新潟全域の地すべりと谷密度との関係は表-2および表-3に示したとおりである。また、図-4は谷密度区分とそれに対応する地すべり区数およびその面積の割合を表わしたものである*。

これらで明らかなように谷密度区分に対する面積の割合をみると、東山背斜地区では谷密度区分20~25の領域で33.7%、16~20の領域では24.4%、11~15領域で18.6%の割合にある。この結果、これを新潟県全域と比較すると全域では谷密度21~25領域で24.7%、16~20の領域22.9%、11~15の領域12.4%の割合を示している。このことは東山背斜周辺と新潟県全域との谷密度区分とそれに対応する面積の割合の傾向は巨視的には似ているといえる。つまり、谷密度区分21~25領域に対応する面積を最大値として、谷密度が増えても減っても面積が減ずる頻度分布を示している点では両者はほぼ同じ傾向にあるといえる。

次に谷密度区分に対する地すべり地区数およびその占有面積の割合をみると、新潟県全域では谷密度区分21~25領域に最も地すべり地区数が多く37.5%を占め、その占有面積の割合は39.7%にもおよんでいる。また、谷密度区分16

図-3 地すべりと斜面傾斜との関係図

* 図-4の空白の部分は地区数を示す

新潟県東山背斜の地すべりとテクトトープ

図-4 地すべりと谷密度関係図

表-2 地すべりと谷密度との関係 (東山背斜地区)

谷密度 区分	地すべり地区					全面積		地すべり 地区面積 の占有率
	地区数		面 積		1カ所当 りの平均 面積			
	カ所 (本)	(%)	(ha)	(%)		(ha)	(%)	
1~5	0		0		0	0		—
6~10	1	1	25.0	0.6	25.0	815.9	2.4	3.1
11~15	20	20	534.5	13.4	26.7	6526.8	18.6	8.2
16~20	26	26	1439.5	36.2	55.4	8566.4	24.4	16.8
21~25	41	41	1171.0	29.4	28.6	11829.8	33.7	9.9
26~30	10	10	667.0	16.8	66.7	5303.0	15.1	12.6
31~35	2	2	141.5	3.6	70.8	2039.6	5.8	6.9
計	100	100	3978.5	100	39.8	35081.5	100	11.3

表-3 地すべりと谷密度との関係 (新潟全域)

谷密度 区 分	地すべり地区					全面積		地すべり 地区面積 の占有率 (%)
	地区数		面 積		1カ所当 りの平均 面積 (ha)			
	カ所	(%)	(ha)	(%)		(ha)	(%)	
1本未満	0		0	—	0	17525	1.4	—
1~5	1	0.1	18	0.0	18	65626	5.2	—
6~15	21	1.3	333	0.4	15.9	158472	2.6	0.2
11~15	132	8.3	4903	6.5	37.1	156234	12.4	3.1
16~20	437	27.4	20481	27.0	46.9	288232	22.9	7.1
21~25	597	37.5	30146	39.7	50.5	310604	24.7	9.7
26~30	322	20.2	16288	21.5	50.6	184946	4.8	8.8
31~35	68	4.3	3271	4.3	48.1	60033	4.8	5.5
36~40	13	0.8	385	0.5	29.6	13051	1.0	2.9
41~45	2	0.1	50	0.1	25.0	2983	0.2	1.7
計	1593	100	75875	100	47.6	1257706	100	6.0

～30領域では地区数で85%, 占有面積で88%の地すべり地が分布する。

一方, 東山背斜地区では新潟県全域と同じように谷密度区分21～25領域で最も多く, 地すべり占有面積では16～20領域では36.2%と最大面積を示している。ところが両者の頻度分布図を細かく分析してみると, 新潟県全域では谷密度区分11～15領域における地すべり地区数は8.3%と非常に少ない。これに対し, 東山背斜周辺では同じ谷密度区分における地すべり地区数が20%であり,

全体的に谷密度の低い方へかたよった傾向がうかがわれるがこの点を特に注目しなければならない(図-4)。このことは要するに片面箱型褶曲という地質構造的背景があることを見抜かねばならないし, この地区の地すべり分布と発生機構への回想があてはかるべきものと思われる。この問題については後に述べることにする。

3) 地すべりと地層との関係

東山背斜地区に分布する地層は既に説明したように, 新第三紀層である寺泊層, 椎谷層, 西山層, 灰爪層(下位より上位へ)と第四紀層の魚沼層などから構成される。図-5はこれらの各地層が地表に露出する面積, それに対応する地すべり占有面積, および地すべり発生件数を示したものである。

東山背斜地区に分布する地層の総面積に対するそれぞれの地層の占める割合をみると, 魚沼層24.4%, 椎谷層23.2%, 灰爪層21.1%, 西山層19.8%, 寺泊層8.9%となっている。このように, 背斜軸部にわずかに露出する寺泊層を除けば, 魚沼層から椎谷層まではほぼ同じ規模の露出面積を有している。そこでこの面積に対する地すべり占有面積をみると椎谷層において最大の地すべり面積を示し, 以下西山層・灰爪層・寺泊層の順に減少する。なお東山背斜からは離れるが魚沼層の地すべりは椎谷層に匹敵する占有面積を示すことになる。

一方, 各地層の地表面積に対する地すべり占有面積の割合をみると, 椎谷層では19.4%と最も比率が高く, 以下西山層13.8%, 寺泊層10.2%, 灰爪層7.0%の順になる。因みに魚沼層では7.3%の高い比率を示している。

つぎに, 各地層ごとの地すべり箇所数, 地すべりの平均面積および最大面積を比較検討することにする。地すべり発生箇所数では椎谷層での発生率がきわめて高く50件にもおよんでいる。つぎに西山層で26件, 灰爪層で19件, 寺泊層で12件の発生件数になっている。またそれぞ

図-5 地層別面積および地すべり面積比発生件数

れの平均面積をみると、西山層で 15 ha、他の地層では 10～12 ha になる。なお魚沼層では 27 件の発生箇所数があり、地すべりの平均面積は 20 ha 以上では他の地層と比較すると圧倒的に大きいことになる。ところで、新潟県全域における新第三紀の各地層にみられる地すべり地区占有率は山野井徹ほか (1974) による研究結果があるが、それによると寺泊・椎谷層が 34.7% で最も大きい点が指摘されている。これに比べると東山背斜地区の場合は、寺泊・椎谷層では 16.8% である。これは東山背斜の北部では地質の項で述べたように火山岩の熔岩・貫入岩および火山碎屑岩を多く介在するために、それらの岩質から地すべりの発生が比較的少ないものと思われる。しかしながら、これらの火山岩類を除くと黑色頁岩の分布するところに限って言えば、地すべり占有率はかなり高いといえるであろう。

4) 地質構造と地すべりとの関係

東山背斜地区における地すべり発生と地質構造との関係は、本論の焦点でもあるのでここで詳論することにする。図-6は東山背斜の軸部を中心に東翼と西翼における地すべりの箇所数と面積の割合を示したものである。この図をみると両翼ともに軸部から 0.5～1.0 km の距離の範囲内に地すべりが多発していることがわかる。また、東翼と西翼とを比較してみると、東翼では地すべり箇所数は軸から東方へ 0.4 km 位のところまでの範囲で地すべり発生頻度が比較的高くなっている。このことは山古志村の半蔵金から種芋原さらに南平に至る地区にかけて地すべりが多く分布していることを示している。

むしろ向斜構造の部分に位置している点を注目しなければならない*。言葉をかえていえば、種芋原の場合、(1) 地質構造が盆状構造を形成している。(2) 岩質 (西山・灰爪層の砂・礫相) と地下水との関係。この 2 つの地質条件が地すべりの発生に大きな役割をになっているものと考察される。そこで種芋原地すべりについて詳説することにする。

種芋原地すべりは、信越線長岡駅から南東方直距離 12 km、山古志村の種芋原地内に位置している。この地すべり地の地質環境は、西側は東山背斜の中核をなす寺泊・椎谷層の熔岩・凝灰角礫岩などから構成される猿倉岳を中心とする急峻な稜線と、東側は西山、灰爪層の泥岩、

図-6 地質構造と地すべり箇所数・面積との関係

* 杉山隆二教授もこの点を指摘されておられる (日本地質学会第 86 年学術大会, 1979 年)

図-7 種芋原付近地質・構造図

砂岩、シルト岩などからなる全体的に低い丘陵性の山稜とに囲まれたところである。すなわち、東山背斜をつくる稜線とは対照的に起伏量の小さい緩傾斜の地形を呈し半蔵金一種芋原一南平に至る 特異な盆地を形成している。このような盆地状地形の成因は、この地域に分布する地層の分布と地質構造とに密接な関係を有するものと考えられる(図-7)。つまり、この盆地は1つは灰爪層基底の礫岩、砂岩が優勢な地層から構成されているが、固結度が低いのが特徴である点があげられる。また他の1つは東山背斜の東翼の椎谷層が東へ緩く傾斜している種芋原部落の西縁において、背斜軸に縦走する NNE 方向の断層によって切られ、この断層を境にして東側は地質構造が質的に相違している。すなわち、断層の東側では走向が E-W 方向へ近くなり、盆状構造へ転化、急変するという点を注目しなければならない。おそらく前述の断層線は東山背斜の翼部が盆状構造へ分化・発展する過程で形成されたものであろう。

以上2つの点について説明したが、この盆状構造と灰爪層の岩相とは、東山背斜の山地から供給される地下水を貯蔵し、停滞するのに格好な地質環境を形成しているものと考えする。特にルーズな十分に固結していない砂・礫岩層の地下水貯留層としての役割は大きいといえる。因みに、この盆地において西山層の泥岩からの揚水量が $1 \sim 3 \text{ l/min/3m}$ であるのに対し、盆地の中心部に分布

する灰爪層の砂・礫岩層に停滞する地下水は $12 \sim 20 \text{ l/min/3m}$ というように極めて大きい揚水量を示している。この現象は盆地の地下水はこの付近の地質構造と岩相とを反映していることを物語っている。

3. 地すべりの発生機構

これまでもしばしば述べてきたように、東山背斜地区に分布する地すべりは基本的には、東山背斜の性格に起因するものと考えられる。この背斜の特徴は北部では非対称的背斜であり、南部では対称的背斜という2つの構造要素が同一系列の背斜のなかに共存しているという点である。そしてこのような条件—構造—は、岩質および地形という「質」と「場」の因子とが相まって地すべり発生の原因をつくるものと思われる。すなわち、具体的にいうならば背斜の西翼部は地層が火山岩・火山砕屑岩から構成されている部分が多く、その結果、椎谷層を例にとっても層厚全体が非常に厚い。したがって、地表面の侵食・削刻に対する抵抗力が大きいことと地層の逆転がみられるように急傾斜であるという内的原因をも加わって、地形面が東翼に比べると急峻であるということが地すべりの発生が少ない原因の1つであるといえる。つまり雨水、融雪水などの侵透は急斜面においては少なく、その結果、地下に侵入する前に地表面を流出してしまうことになろう。したがって、地下における浸透水による泥質岩の粘土化(風化)といったような現象もおそらく活発には行なわれないものと推察する。おそらく西翼部に発生した断層の発達状態などからみると岩体自体のなかの地下水がそこに停滞する時間はそれほど長くはないであろう。

これに対して、東翼部では地層の傾斜も緩く西翼部に比べると厚さが非常に薄い。これは東翼部では椎谷層の火山砕屑岩の介在が量的に少なく、これに代えて凝灰質砂岩が発達することによるものである。また、椎谷層に限らずそれより上位の西山・灰爪層や魚沼層の各層についても層厚についていえば同じような傾向がみとめられる。このような現象は褶曲を形成する運動の性格が背景にあるわけで、東山背斜の東翼部にみられる盆状構造への分化もまたこのような造構運動の反映としてとらえるべきである。したがって東翼部にも小さい単位でのテクトトープがあるということになり、その結果、そこには地形的条件とともに背後地からの浸透水の集積もこのようなテクトトープに規制されるものという考察が必要である。つまり、もっと具象的にいうならば、地質構造としては小盆状構造ないし半盆状構造という形態の集水条件と貯留層としての岩相的集水条件とが東翼にはよく整っているといえることができる。なお、これに東山背斜東翼の断層系の存在は水みちとして当然考慮されなければ

ならないことは言をまつまでもなからう。すなわち、前項において説明したように、東山背斜地区の地すべり箇所数、面積と地質構造との関係を示すヘキサダイアグラム(図-6)にもうかがわれるように、背斜の北部においては西翼に比べると東翼では地すべり面積も大きく、かつ背斜軸からかなり離れたところにも分布が広いのが特徴であるとともに、地質構造的位置からするとむしろ向斜部にあたっていることになる。このタイプの地すべりの好例は種芋原地すべりである。既に述べたようにこの地すべりの発生機構は、小盆状構造と岩質的に灰爪層基底の岩相が透水性が大きいことに原因がある。特に種芋原地すべり地の平坦なところでは地盤沈下現象がみられ、かつパイピングのような挙動さえ観察されるのはこれを暗示するものであろう。すなわち、このタイプの地すべりの原因としては構造的要素と岩質的要素とが共存しているもので、構造的地すべりと岩質性地すべりの両者が複合しているものと考え。蛇足の説明を許容されるならば、いまここに「場」の条件である構造的条件を考えてみることにする。東山背斜はその性格からして、西翼部は側方圧縮性応力場にあるといえる。つまり、この褶曲は東から西へ働く横断方向に最大圧縮主応力軸をもつ応力場で形成された構造であると推考できる。これを裏書きするのは岩石物性の差異にも表現されている。例えば両翼における椎谷層の砂岩を比較してみると、同じ岩質の同じ層準における凝灰質砂岩の圧縮強さは、西翼部のそれに比べると東翼部の砂岩は $1/3 \sim 1/10$ という強度の岩石試験結果のデータがえられている*。すなわち、ここで強調したいのは造構造環境と岩石物性との間にはかなりの相関性があるということである。なお東山背斜北部と荷頃背斜との中間にあたる向斜部にも“板窪地すべり”などがみられるがこれらもまたこのタイプに属するものであろう。

ところが一方、これらに対して東山背斜南部や荷頃背斜に分布する地すべりは、これまで述べたものに比べると位置的には軸部に集中して発生している点を指摘できる。例えば虫亀、下平、矢津などの地すべりがその例である。このタイプの地すべりは中央油帯背斜軸部に分布する地すべりで、筆者の1人西田が提案したように原因からいうと構造的地すべりの典型的なものである。すなわち、このタイプの地すべりは、褶曲の成因としては座屈による要素が強く、褶曲形成の過程で主に水平圧縮応力による slip と flow をともなう後生的岩石物性の変化(破壊)が素因となったものと考察する。既に述べたように東山背斜の構造的要素にもこれをうかがうことができる。

ところで、東山背斜の南端は上越線川口駅の南西方向にあたる高場山付近で沈入背斜 plunging fold となり軸が傾いている。すなわち軸の沈入部では軸方向に引張りによる開口性の断裂が形成されるはずである。事実、1971年1月に高場山トンネル地すべりはこのような位置に発生した。この場合、滑落崖で観察された西山層の泥岩は著しく破碎されている。したがって高場山トンネル地

すべりも背斜の特殊な場所に発生した構造的地すべりの範疇に含まれるべきものと考え。

以上に述べたように、東山背斜地区の地すべりは、この背斜の性格(非対称性、対称性、軸の分岐などの特性)からして、構造的地すべりと岩質性地すべりとが共存しているということになろう。さて、地すべり現象の原因を植村 武(1975)は、内的原因と外的条件の2つに分けているが、同氏によれば外的条件は「場」の因子から構成されている。すなわち、地形もまた「場」の因子に依存するもので、地形の基本は造構造力による隆起・沈降と風雨などの営力による地表面の侵食・剝削によって決まるといえる。したがってこれらの因子は一定不変のものではなく時とともに変化する。褶曲構造のなかには活褶曲と呼ばれる現象があるが、このタイプの褶曲は現在もお造構造力の余命が継続しているものである。つまり、水準点が褶曲の背斜のところで上昇し、向斜のところで沈下するという性格の褶曲である。ところで東山背斜は果たしてどうであろうか。

これまでの水準点測定の結果では、新潟県下でいくつかの褶曲が現在もお活動していることが知られている。また、水準点と地質構造との対応関係があることも指摘されている。例えば東山背斜の南部を横切る小出一小千谷ルート、中央油帯背斜の南部を横切る柏崎—長岡ルートはその代表的なものである。いずれも褶曲の背斜の部分が現在も隆起し、向斜の部分が沈降している。向斜部の水準点を基準にして背斜軸付近に設置された水準点の相対的な成長速度を求めると、小出一小千谷ルートで 0.54 mm/Yr 、柏崎—長岡ルートでは 2.8 mm/Yr となっている。ここでも注目されるようにほかの背斜に比べて中央油帯背斜の背斜部の平均速度が桁違いに大きい点である。この背斜軸に沿って直線状に活動中の地すべりや過去に活動した地すべりが集中して発生しているという事実は注目すべきである。また、中央油帯背斜軸部の地すべりに観察される地質構造は薬師峠トンネル地すべりの例にみられるように、そこには背斜部に縦走する高角・開口性の正断層のほかに座屈褶曲の進行にとともにできる低角の衝上断層が形成されているという実例をあげることができる。その結果、岩石自体がかなり破碎されている。背斜軸部に多発するこのタイプの地すべりはこの背斜頂部の断裂そのものが地すべり素因となるものと考え。したがって東山背斜南部の地すべり群にも素因(内的原因)としては構造的因子を考慮すべきである。そしてさらに推考すべきは、これらの因子とともにその背景には地形という因子(外的条件)とともに造構造応力史への回想が必要であらう。そこで、ここにあらためて提起しなければならぬことは地すべりの発生機構と活褶曲という問題である。

活褶曲と地すべりとの関係については、高野武男(1960)、岩松 輝(1975)らによって両者の間には関係があることが提言されている。高野は秋田県、山形県下において褶曲帯の背斜部に地すべりが多いという点に注目し、この分布傾向は活褶曲と何らかの関係にあるものであらうと述べている。この発想はやはり同氏の長い経験

* この問題については近く報告する予定である。

の蓄積から生まれた卓見であろう。しかし、同氏も述べているように両者の関係については今日なお明確にこれを説明できる段階にないといえるようである。しかし、近年、地質学における1つの分野である構造物理学 Tectonophysics のめまぐるしい進歩により野外における岩石(地層の変形・破壊に関するメカニズムが理論的に説明されるようになった。したがって、地すべりと活褶曲といった問題でも造構造応力史という観点から解明されてきている。すなわち、背斜軸に沿って直線状に分布するという地すべり現象についても造構造運動を考慮に入れた力学的アプローチが必要であり、今日こういった視点からの研究がようやく進められつつある状態になってきたといえる。一方、玉田喜三郎(1973, 1980)はこのような考察とは別に、工学的立場から新規地すべり発生時における破壊条件について報告し、潜在すべり面という概念を提言している。同氏は潜在すべり面について“過去の地質構造運動によって、地層中に生成したwater film 面(一種のせん断破壊面)という超薄層、超弱面の亀裂が多数入っている集合帯のことで、地層中の一種の弱面に相当する。”というように説明している。そしてこの生成機構については地質学的背景があるというよう到大変興味ある言葉で綴っているが、この意味には1つは地形面の隆起量を考慮しているようにうかがうことができる。つまり、活褶曲帯にみられる水準点の相対的な成長速度 0.54 mm/Yr (東山背斜南部), 2.8 mm/Yr (中央油帯背斜)という数値からすると玉田氏の潜在すべり面は生成されることになる*。筆者らはこの場合、同氏の潜在すべり面そのものの存在を肯定しているわけではないが、それにしても一脈通ずるともいえる別個な思考をもっている。というのはフレキシュラル・スリップ褶曲作用 flexural-slip folding により層状岩石にできるたわみ(主として層理またはそれに平行な面構造にできる平行なすべり)という構造物理学的な物性に基づく内的原因と地形的因子とが相重なって岩体のなかに一種のせん断破壊面ができ、これが地すべり面の形成に連なるのではなからうかと推察するものである。すなわち、活褶曲という造構造運動も地すべり発生に深い関係があることをあらためて強調するとともに、この意味から東山背斜南部の地すべり群についても上に述べたような側面観が必要であろう。

むすび

東山背斜地区に発生した地すべり地は、分布の傾向からすると著しい特徴がみとめられる。これはまず第一に指摘できる点は、基本的には地質構造を反映しているということである。すなわち、東山背斜北部の構造は非対称的背斜であり、西翼の傾斜は急、一部逆転、これに対して東翼は緩いという大きな相違がみられる。これはおそらく褶曲の成因、性格を暗示するものであろう。一方、これに対し背斜南部は対称的背斜を形成している。地すべり地は背斜の北部に限っていうならば東翼では軸部か

らやや離れたところか、むしろ向斜部に近い場所に位置している。これに対して背斜南部ではこの傾向とは異なり背斜軸部に集中している。このように同一系列の背斜においてもこのように地すべり発生の場所が位置的に大きく相違しているのは要するにテクトトープに規制されたものと考察する。このように東山背斜南部の地すべりは原因・発生機構ともに中央油帯背斜の地すべりに類似しており、したがって構造性地すべりの類型に含まれる。これに対し、背斜北部の地すべりははもとより岩質が主因であり、これに加えて造構造運動にともなう応力場の条件を反映するもので岩質性地すべりの範疇に入るものである。ところで、東山背斜地区ではなおかつ注目すべき現象は東翼に続く向斜部に盆状構造に規制された特異なタイプの地すべりが大規模に発生しているという点である。以上に述べたように、東山背斜地区の地すべりは、発生原因(素因)から推考すると構造性地すべり・岩質性地すべり・岩質一構造性地すべりが複合している発生機構のうえでは複雑な地すべり地帯であるといえることができる。

参考文献

- 高野武男(1960): 地すべりと防止工法, 地球出版, p. 121-123
 山田剛二・小橋澄治・草野国重(1971): 高場山トンネルの地すべりによる崩壊, 地すべり, Vol. 7, No. 5
 島田忠夫・三梨 昂・影山邦夫・宮下美智夫・鈴木尉元(1974): 東山背斜の層序と地質構造, 地質調査所報告, 第250号-1
 小玉喜三郎・樋口茂生(1974): 東山背斜翼部の断層系, 地質調査所報告, 第250号-2
 鈴木尉元・三梨 昂・影山邦夫・島田忠夫・宮下美智夫・小玉喜三郎(1974): 新潟第三系堆積盆地に発達する褶曲の形成機構について, 地質調査所報告, 第250号-2
 小玉喜三郎・鈴木尉元・小川銀三・丸田美幸(1974): 箱型褶曲の内部構造について—スケール・モデル実験による研究, 地質調査所報告, 第250号-2
 小玉喜三郎・鈴木尉元・宮下美智夫・相馬庸三(1974): 上・中越地域の水準点変動と地質構造の相関, 地質調査所報告, 第250号-2
 永田 聡・神田 章・馬場一雄・須田光治(1974): 新潟県の地すべり分布と地形について, 地すべり, Vol. 11, No. 3
 山野井 徹・石黒重実・布施 弘・神田 章(1974): 新潟県の地すべりとその環境, 地すべり, Vol. 11, No. 2
 岩松 輝・服部昌樹・西田彰一(1974): 地すべりと岩石の力学的性質, 地すべり, Vol. 11, No. 1
 西田彰一(1975): 第三紀層の地すべり発生と予測の研究, 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果, No. A-50-6
 岩松 輝(1975): 新潟県下の地すべりとしゅう曲作用, 新潟大理学部地盤災害研究施設, 研究年報, 第1号
 植村 武(1975): 地すべりの分類と予測, 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果, No. A-50-6
 西田彰一・岩松 輝(1976): 北部フォッサマグナ地域の地すべり, 昭和50年度自然災害特別研究「フォッサマグナ北部地域における崩壊の発生機構と予測に関する研究」成果報告
 垣見俊弘(1978): 地質構造の解析, 地学双書22, 地学団体研究会
 Makiyama, J (1978): Tectonomechanics, Tokai University Press
 玉田文吾(1980): 新規地すべり発生時における地すべり面の形状, 地すべり, Vol. 16, No. 4

(原稿受理日 昭和55年 6月10日)

* 年間の隆起量が 0.1mm 以上あれば潜在すべり面ができるとのことである(玉田教授の御教示による)。

長野県下伊那郡大鹿村小塩沢地すべりについて

「地すべり」Vol. 17, No. 4 (通巻第64号) 1981年 (昭和56年) 3月

北沢 秋司

これまでの調査によって、この地すべりの特徴及び対策を、次のようにまとめることができる。

- (1) 三波川帯結晶片岩類の破碎が著しい地帯に発生していて、地すべり形態が不完全で、地すべり性崩壊に類別される。
- (2) 断層によって分断されたブロック内に発生しているもので、ここはまた古い地すべり地形である。
- (3) 基盤に浸透した地下水によって、破碎部が膨潤化して、それが表面に突出して、滑落崖を形成した。
- (4) 滑落崖は、蛇紋岩の貫入部で、このような弱線部が2本ある。
- (5) 小塩沢に施工した、床固工及び谷止工によって、溪床が上昇し、地すべり地内に地下水を浸透させた。
- (6) 対策としては、主として地すべり地頭部の地下水の排除に重点を置くことが望ましい。

新潟県東山背斜の地すべりとテクトープ

「地すべり」Vol. 17, No. 4 (通巻第64号) 1981年 (昭和56年) 3月

寺川 俊浩, 和久 紀生, 西田 彰一

小論は、新潟県東山油田に発達する東山背斜帯に分布する地すべり発生 の素因と機構に関する構造地質学的考察を行なったものである。東山背斜は北の部分では非対称的背斜を形成し、西翼の傾斜は急、東翼は緩く、地すべりは東翼部に多発している。この傾向は岩質 (物理的・化学的性質) が内的原因となるものである。これに対し、背斜南部では対称的急傾斜の背斜となり、地すべりは背斜軸部 (頂部) に集中して発生する。これはおそらく軸部の断裂による破碎が起因となるものであろう。つまり、背斜北部は岩質地すべり、南部は構造性地すべりに区分できるように、この地帯の地すべりは同一系列の背斜にありながら、その類型は個々の構造単元の性格に規制されている。

Time Dependent Behavior of Soil during Direct Shear Creep

「地すべり」Vol. 17, No. 4 (通巻第64号) 1981年 (昭和56年) 3月

Fujiya KOMAMURA

An equation for creep curve which can be used to characterize the creep behavior of soils is derived from creep test results. The equation which consists of the terms expressing the primary creep, secondary creep and tertiary creep is valid to describe the creep behavior over any time period.

The time to creep failure under a sustained stress decrease with increase in water content and stress level. The prediction of time to failure in soil creep was discussed by applying the displacement-time equation and the theory of rate process. The equation for prediction of creep failure of soil is derived as a negative exponential function of stress and water content.

新潟県の地すべりと地質および地質構造の関係 (2)

「地すべり」Vol. 17, No. 4 (通巻第64号) 1981年 (昭和56年) 3月

福本 安正

崖崩れによる家屋被害に関する調査研究

「地すべり」Vol. 17, No. 4 (通巻第64号) 1981年 (昭和56年) 3月

鶴飼 恵三, 石橋 正司, 竹洞 一則

昭和53年6月の新潟水害時に発生した崖崩れによる家屋被害に関し、その原因の究明及び防止対策の立案の一助となることを目的として、調査研究を行なった。調査は独自に作成した調査表にもとづき、一つ一つの崖崩れについて聞き込み及び現場調査を行なった。この結果、崖崩れの多くには崩壊前に前兆現象が見られたこと、家屋の大部分は敷地内で切土の崖に接近して建てられていること、過去に崩壊の経歴がある崖では少ない降雨量で崖崩れが発生していることなどが明らかになった。