

重力性傾動構造のカタログ作成の意義と展望

柏木 健司* 横山 俊治**

Significance and Prospect of Catalogue of Gravitational Tilting Structures

Kenji KASHIWAGI * and Shunji YOKOYAMA **

Key words : gravitational tilting structure, creep, topple, cleavage, joint, fracture

キーワード : 重力性傾動構造, クリープ, 転倒, 劈開, 節理, 割れ目

I. はじめに

近年日本でも、地質学の特定の分野や現象にテーマを絞ったカタログやアトラス(以下、カタログ)の作成が企画され、その成果が一般書店で販売されることも多くなってきた。これらのカタログは、多くの事例や現象の記載が蓄積されている分野において、主として総括や類型区分などを目的として作成されることが多い。作成されたカタログは、その対象分野の若手研究者においては研究の全体を理解する上での基礎的な資料となるとともに、関連分野の研究者や技術者においては、様々な形で利用が容易になっている。さらには、研究者や技術者を通して一般社会にもカタログ情報が伝達されるようになってきた。しかし、ここで扱う重力性傾動構造は、事例や現象記載そのものが、学問的にある程度成熟している分野とは違って、量質ともに十分に蓄積されているとはいえない。

本稿は、重力性傾動構造のカタログ作成の意義

と展望を論じることを目的としているが、早急な総括ないしは類型区分を目指しているものではない。むしろ、重力性傾動構造の実態をより深く理解するために、調査および記載手法を整理し、それにより多くの詳細な事例記載がなされることを望んでいる。また、個々の事例を記載段階からカタログにデータとして整理し、それを深化させていくことにより、重力性傾動構造の学問分野としての成熟を期待している。

筆者らは東京地学協会平成 12 年度研究調査助成金を用いて、複数箇所の重力性傾動構造のフィールド調査を実施した。この報告では、重力性傾動構造のカタログ作成の意義を先に示し、実際の調査・研究手法を述べる。次に、重力性傾動構造の具体事例を 3 例報告し、重力性傾動構造認定のポイントを提示する。

II. 重力性傾動構造のカタログ作成の意義

重力性傾動構造は、急傾斜する層状あるいは片状、柱状の岩盤が、重力の作用により斜面下方に

* 大阪市立大学大学院理学研究科生物地球系専攻

** 高知大学理学部自然環境科学科防災科学コース

* Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University

** Natural Hazard Prevention Science Course, Department of Natural Environment Science, Faculty of Science, Kochi University

移動することにより形成される構造である。それには、転倒（トッブル）とクリープという、二つの運動様式の異なる斜面変動が含まれている。しかしながら、すでに公表されている文献では、両者の用語の使い分けや識別に関して混乱があり、例えばトッブルがクリープの範疇に入れられていることもある。クリープによる重力性傾動構造は、谷側への曲げ褶曲（valleyward bending fold）である。谷側への曲げ褶曲は、傾動の進行に伴って転倒に漸移的に移行するのが一般的で、そのことが両者の明確な識別を難しくしているほか、用語の使い分けに混乱を来す原因にもなっている。

重力性傾動構造の発達する斜面では、最終的に崩壊に至る直前の速度は一般に高速である。従って、継続的な観測態勢で監視する以外に崩壊直前の予知は難しい。しかし、重力性傾動構造を最終的な斜面崩壊の前兆現象とみなすならば、重力性傾動構造の有無を明らかにするだけでも、斜面崩壊場所の予測に関して貢献することができる。また、転倒は最終的な崩壊の運動様式になる場合がしばしばあることから、斜面防災上はクリープによる重力性傾動構造の認定の方が重要である。そこで、本稿ではクリープによる重力性傾動構造を主題に記述し、以下では特に断らない限りクリープを省略して重力性傾動構造の用語を用いる。

重力性傾動構造の認定はこれから述べるように必ずしも容易ではない。まず、重力性傾動構造は低封圧条件下の変形であるため、地表付近では著しい岩盤の緩みや局所的な崩壊がしばしば発生する。そのため、構造形態の全容を捉えることのできる露頭を得ることが難しい。さらに、重力性傾動構造は斜面変動の変遷過程における現在進行中の変形構造であり、時間とともに運動様式が変化するだけでなく、最終的には崩壊によって失われてしまうこともある。構造形態の全容が良く現れている急崖をなす露頭では、調査手法が著しく限定されることも多い。

工事現場の切土法面では、しばしば重力性傾動構造の構造形態の全容が出現することがある。しかし、工事現場への立ち入りなどに際して時間的制約が大きく、調査期間が著しく限定されること

も少なくない。切土法面に現れた重力性傾動構造の多くは、その実態が詳細に調べられることなく除去されたり、構造物で被覆されてしまう。広い情報網を持っているつもりでも、タイミング良く重力性傾動構造が露出している現場に出会えるとは限らない。

通常地質調査でも重力性傾動構造に出くわす可能性がある。しかしながら、重力性傾動構造は、その地域やより広域のテクトニクスを編む上で、必要とされる構造ではない。そのため、地質時代に形成されたテクトニック構造として誤って記載されることはあっても、学問的関心を持って記載されることは少ない。

筆者らは、数年来にわたって重力性傾動構造の事例収集を進めてきた。その中で、上記のような諸事情が重力性傾動構造の研究の障害となり、詳細な構造解析事例の蓄積を著しく妨げていることがわかってきた。すなわち、現状では重力性傾動構造の収集事例は少なく、現象そのものの理解が不十分で、記載項目やその方法についても試行錯誤の状態にある。しかし、不正確な内容を含む情報であっても、斜面防災に際しては情報の早期公開および伝達が必要となってくる。そこで、今回試みたのが重力性傾動構造のカタログ作成である。はじめは未成熟なカタログであっても、解析事例が増えるにつれて記載手法も改善され、将来的には重力性傾動構造の総括および類型区分につながるものと考えている。

III . 重力性傾動構造の記載手法

重力性傾動構造のカタログには、フィールド調査と室内解析によって得られたデータが記載される。

記載の第一段階は、重力性傾動構造の存在を明らかにすることである。岩盤の構造断面が現れている露頭で、表層の岩盤のみが斜面下方に傾動している場合、重力性傾動構造かどうかを検討する必要がある。その際、割れ目の発達状態や傾斜の急変部が観察のポイントとなる。

河床部に急傾斜する岩盤が分布するにも関わらず、両側斜面では低～中角度で山側に傾斜する受

け盤構造をなす場合、重力性傾動構造の存在を検討する必要がある。ルートマップないしは岩相分布図を作成し、上記に示した構造が谷ごとに観察されれば、重力性傾動構造が発達している可能性が高い。そのような場合、構造形態を念頭において、割れ目の発達状態や岩盤の緩みを、再度チェックしなければならない。

記載の第二段階は、重力性傾動構造の幾何学的形態の記載であり、構造断面が現れている良好な露頭で行われるべきである。この段階での露頭の適切な選択が、その後の割れ目解析を中心とした研究の流れに大きく影響する。すなわち、良好な構造断面が現れていない露頭での検討は、不必要に多大な時間を要するだけでなく、十分な成果を得ることさえできない危険性がある。

重力性傾動構造の幾何学的形態の記載は、割れ目群が作る幾何学的形態のスケッチと割れ目の計測が中心となる。重力性傾動構造の幾何学的形態のスケッチに際しては、多数の割れ目を正確に描く必要がある。そのためには、まず写真を基に割れ目の分布や地層境界を描いた図面を作成し、それを持って現地で修正・加筆するのが正確かつ効率的である。

次に修正・加筆されたスケッチを基に、個々の割れ目の走向傾斜、開口幅、変位センス、変位量、割れ目密度などを計測し、割れ目の分類や前後関係などの記載を行う。その過程で、スケッチの細部に加筆・修正がなされることが少なくない。そのため、露頭をできる限り破壊することなく、各種調査・計測を進めてゆく必要がある。例えば、開口幅が数 mm から数 μm と狭い割れ目では、薄いへらをその間に差し込むことで、割れ目をほとんど破壊することなく迅速に走向傾斜などの計測を行うことが可能となる。

露頭崖の直下や周辺に落ちている岩片も、重力性傾動構造の調査では重要な観察対象となる。すなわち、その形状は岩盤がどのような構造に支配され、どのように割れやすいかを反映したものである。

ところで、先に述べたように重力性傾動構造の好露頭は急崖に現れやすく、このことが現地での

調査を困難にしている。そこで、筆者らは数 m 以上の崖の調査では登坂調査を採用している。これは、崖の頂部の樹木などにロープを固定して、登坂器具を用いてロープにぶら下がりながら、割れ目に近づいて観察・計測を行うものである。この手法は、迅速かつ精度の高いデータの取得が可能であるだけでなく、安全に作業を進められる点で優れている。

上記の露頭解析に加えて、周辺地域を含んだ岩相分布図や重力性傾動構造の分布図の作成が必要である。異なる岩相間や地形条件の相違により、傾動構造の幾何学的形態や発達密度に違いが生じているかどうかを検討し、傾動構造発生の原因となった地質因子と地形因子の解析に供する。

これらの作業を通じて、割れ目解析を行うに適切な位置で、岩石試料のサンプリングが行われる。岩石試料は、室内での割れ目解析に供されるものである。

記載の第三段階は、室内における割れ目解析である。重力性傾動構造を構成する割れ目の多くは、片理や劈開、節理などのテクトニック構造から転化したものである。そのため、テクトニック構造と重力性の割れ目との関係を明らかにすることに、観察の重点がおかれる。その際の調査手法としては、偏光顕微鏡下での観察が簡便かつ効果的である。観察のポイントは、テクトニック構造のどのような性質を使いながら、どのような割れ目に転化していくかという点にある。テクトニック構造を横切っているようにみえる引張り割れ目も、その延長部を偏光顕微鏡下で観察することにより、テクトニック構造が割れ目の発生形態を支配している様子がわかる場合もある。

偏光顕微鏡観察に供される岩石試料は、この段階の割れ目解析の成否に影響してくるので、野外での詳細な観察に基づくサンプリングが必要不可欠である。また、この段階での観察結果を基に、野外での記載やサンプリングに追加がなされることも多い。

これら各段階での記載・計測・解析を適切に行うことで、一つの割れ目について異なるスケールでの検討や、重力性傾動構造の運動像の組み立て

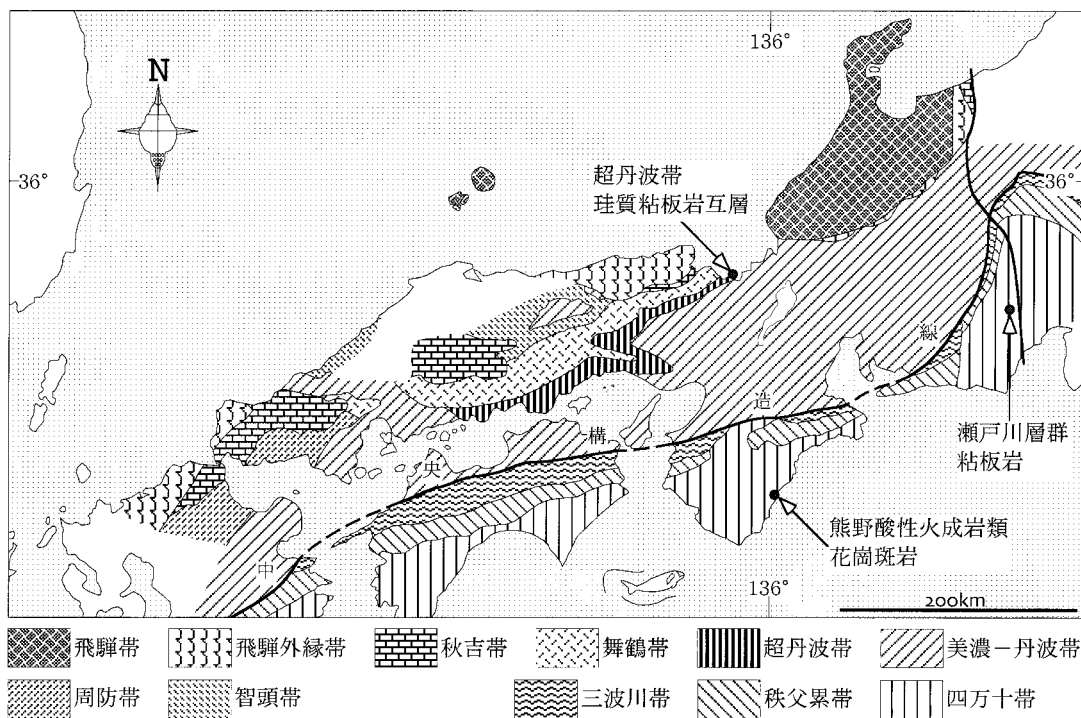


図 1 調査露頭位置図。(Ichikawa, 1990 を基に作成)

や素因となった地質因子の同定が可能になってくる。さらに、事例記載の蓄積によって、重力性傾動構造を発生しやすい地質体や地質因子も次第に明らかになってくるものと思われる。

ところで、重力性傾動構造の発達している斜面には、多数の開口割れ目が発達している。開口割れ目は、岩盤中への植物根の侵入を許し、岩盤はそれらの生長によっても破壊され、割れ目の微細構造ほど失われやすい。また、植生の影響がなくても、数年間の間に傾動が進行していることもある。重力性傾動構造ではこういったことがしばしばあるので、記載に適した露頭に出会った場合には、まずは早急にカタログに記載することが必要である。継続した観察によって、傾動の進行を捉えられる場合もある。カタログは、斜面のカルテとしても有効に利用することができる。

IV. 重力性傾動構造の幾何学的特徴

筆者らは現在、西南日本を中心に重力性傾動構

造のカタログ作成を始めている。以下では、その代表的な事例を3例紹介する(図1)。ただし、紙面の都合でカタログの書式ではなく、その内容をまとめたものである。

1) 瀬戸川層群の粘板岩

粘板岩中には劈開が密に発達し、所々に劈開に高角に交わるキンクバンドがみられる。重力性傾動構造は、多数の劈開に沿った割れ目(劈開割れ目)の形成を伴いながら進行している(図2)。劈開割れ目の傾斜が最も大きく変化する屈曲部では、鋭角で斜交する劈開割れ目群が作るくさび帯や、劈開を高角に横切る引張り割れ目、キンクバンドに沿ったキンク境界割れ目などが特徴的に発達する。また、割れ目の開口幅や割れ目密度は屈曲部で最大になり、上下位に向かって割れ目は閉じるとともに、割れ目密度は減少する。傾動している岩盤中には、劈開割れ目に沿ったずり変位センスのマーカとなる小構造(図3)が多数発達し、屈曲部の上位では谷側上がり、下位では山側上

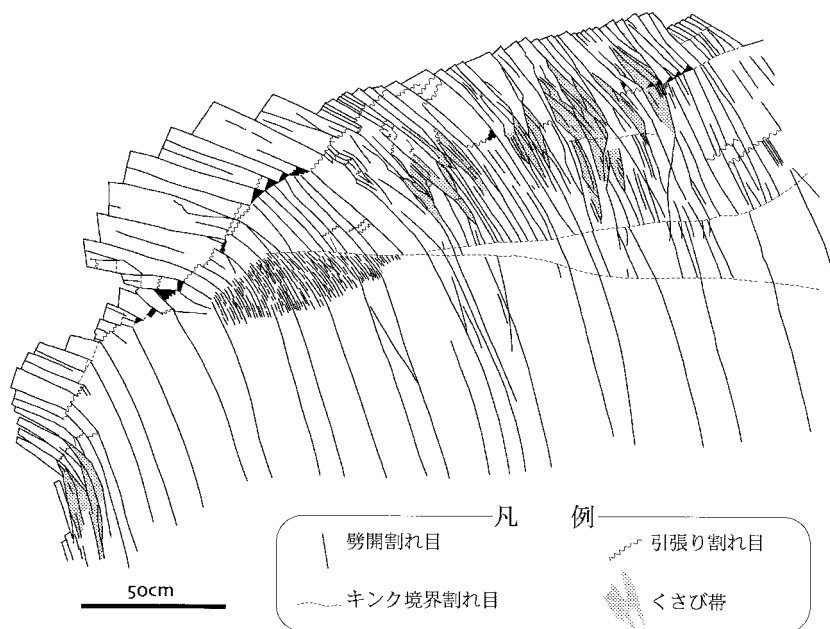


図 2 瀬戸川層群の粘板岩中に発達する重力性傾動構造の構造断面。
(横山・柏木, 1996 から引用)

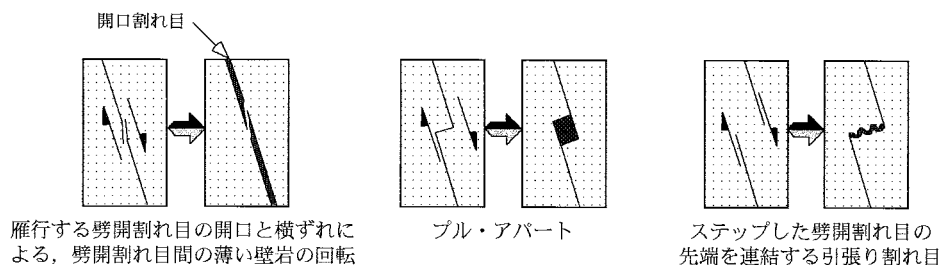


図 3 劈開割れ目に沿ったずり変位センスのマーカーとなる小構造。
(横山・柏木, 1996 から引用)

がりとなる逆センスのずり変位を示す。

傾動している岩盤の地表部では、谷側上がりのずり変位を示す劈開割れ目が十数 cm 間隔で階段状に発達する。この階段状構造を構成する劈開割れ目群は、より深部に位置する主要な劈開割れ目群に連続している。

重力性傾動構造は、劈開面に沿ったすべりによる劈開割れ目の生長で進展し、その過程で引張り割れ目やキンク境界割れ目が形成されている。

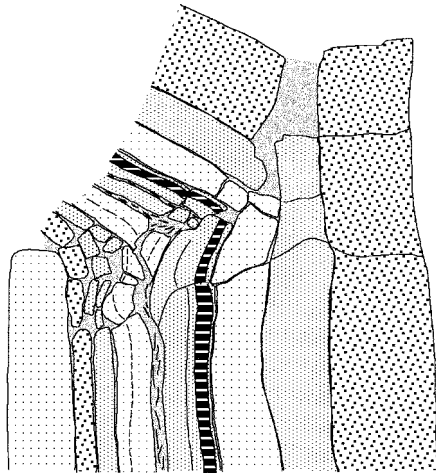
なお、本事例の詳細は横山・柏木(1996)で述

べている。

2) 超丹波帯の珪質粘板岩互層

珪質粘板岩互層は、層厚数 cm の珪質粘板岩層と層厚 1 cm 以下の白色粘板岩層のリズミカルな互層からなる。珪質粘板岩中には劈開が密に発達するとともに、劈開に高角に交わる石英脈が多数みられる。白色粘板岩中には、微細な雲母鉱物の定向配列による劈開が密に発達し、石英脈の発達に乏しい。傾動している岩盤中では、白色粘板岩と珪質粘板岩の岩相境界に沿った分離が著しく、白

色粘板岩中には劈開割れ目が多数形成されている(図4)。珪質粘板岩中には、劈開に高角に交わる節理に沿った割れ目(節理割れ目)の分離および開口がみられる。傾動に伴う割れ目の開口幅は、屈曲部で最大となるとともに上下位に向かって閉じ、割れ目密度は屈曲部で最大となる。屈曲部に



- ◇ 珪質粘板岩 (すべての砂目模様を含む)
- (/) 白色粘板岩 (珪質粘板岩間の薄層として産するため、数mm層厚のものは省略)
- ▨ 酸性凝灰岩
- ▨ 開口割れ目

図4 超丹波帯の珪質粘板岩互層中に発達する重力性傾動構造の構造断面。(柏木・横山, 2000 を一部改変)

生じた開口部では、珪質粘板岩の同一層準の重複が生じている。ところで、劈開が密に発達する珪質粘板岩中には、劈開割れ目はほとんど形成されていない。これは、石英脈が珪質粘板岩中の劈開に沿ったすべりを抑制し(図5), そのために石英脈に乏しい白色粘板岩中にすべりが集中していると考えられる。

重力性傾動構造は、白色粘板岩中の劈開や珪質粘板岩と白色粘板岩との岩相境界に沿うすべりにより発生した。主要な形成段階では、白色粘板岩中の劈開に沿ったすべりと、珪質粘板岩中の節理に沿った分離・開口が同時に進行した。

なお、本事例の詳細は柏木・横山(2000, 2001)で述べている。

3) 熊野酸性火成岩類の花崗斑岩

花崗斑岩中には、急傾斜する柱状節理が1~3m間隔で発達している。重力性傾動構造が観察される旧採石場の露頭には、柱状節理面に沿った割れ目(柱状節理割れ目)と、柱状節理割れ目で境された柱体中に引張り割れ目が発達している(図6)。引張り割れ目は、柱体背面の柱状節理面から柱面に直交する方向に生長し、途中から柱体下方に向かって急カーブするものが多い。ただし、急カーブせずに途中で停止する場合もあり、柱体を完全に横断することは少ない。

重力性傾動構造は、初期の段階から柱状節理に沿うすべりと引張り割れ目の生長が同時に進行したと考えられる。斜面下方の柱体ではさらに変形が進行し、柱体を横切る引張り割れ目の一部では滑動も生じ、滑動に際して小規模な落石も発生し

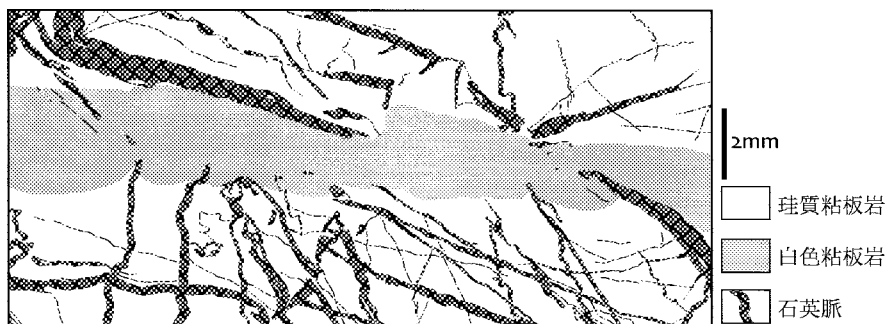


図5 珪質粘板岩互層中における石英脈の発達状態。

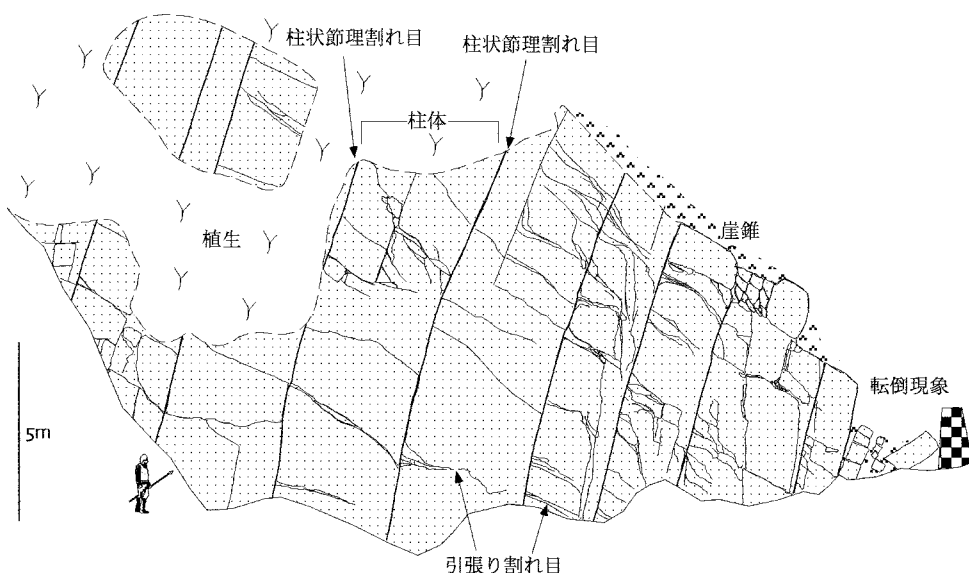


図 6 熊野酸性火成岩類の花崗斑岩中に発達する重力性傾動構造の構造断面。

ている。また、斜面の最前方では転倒によって崩壊が生じている。

V. 重力性傾動構造識別の着目点

実際の調査の際に、重力性傾動構造の認定で問題になるのはテクトニックな褶曲との識別である（横山ほか，2000）。すなわち、観察している傾動構造が地表付近で風化・劣化して緩みを生じたテクトニックな褶曲の一部分なのか、現位置で岩盤クリープ性褶曲構造として形成された重力性傾動構造なのかの識別が難しい。前述の事例や記載手法のなかで触れてきたことであるが、ここでは今一度、重力性傾動構造識別の着目点について列記し、本稿のまとめとしたい。

重力性傾動構造は下記のような特徴を持つ：斜面勾配が大きく、かつ山側に急傾斜した構造と斜面とが平行に近い場所で発生しやすく、しかも同一斜面でも微地形の影響を受けて傾動の程度が複雑に変化する。深部が固定された片梁の曲げに対比できる構造なので、構造形態は非対称である。すなわち、地表部付近のある深度で屈曲し、屈曲部よりも浅部側で傾動が著しく、深部側では重力の影響を受けない河床部に向かって次第に軽

微になっていく。瀬戸川層群の事例のように、傾動による階段状構造がそのまま地表に現れたり、多重山稜や線状凹地、尾根向き小崖といった地形が出現することがある。急傾斜した片理や劈開、層理などのテクトニック構造が割れ目に転化し、それに沿ったすべりが原因で傾動が進行している。しかし、その割れ目を河床の岩盤まで追跡すると、割れ目は消滅している。割れ目は屈曲部で最も著しく開口し、それより浅部側、深部側のいずれに向かって閉じていく傾向がある。割れ目の開口部は土砂によって充填されることはあっても、鉱物脈で充填されることはない。急傾斜するテクトニック構造のほか、キンクバンドや節理、断層などの、より脆性条件下で形成された構造の規制も強く受けている。とくに硬質岩層の曲がりは既存の割れ目に支配されている。傾動構造の非対称形態から読みとれるセンスや、傾動構造形成に関係した割れ目などの変位センスが、重力の作用方向と調和的である。テクトニック褶曲とは形態や姿勢、層厚の変化が異なる。傾動の進展が連続的な観測、あるいは不定期的な観測で捉えられることがある。

VI. おわりに

重力性傾動構造を形成しやすい地質体では、重力性傾動構造の発達している斜面で突発的な崩壊が起こりやすく、崩壊土砂が土石流や岩屑流になる危険性も高い。従って、重力性傾動構造の存在確認が斜面防災に直結する。そこで防災関係者のみならず、工事関係者にも重力性傾動構造に関する知識が普及されることを望むものである。それには、目視で直感的に判断できる簡便な資料があれば役に立つ。重力性傾動構造のカタログが、そういった資料として、当該分野の研究の進展だけでなく、斜面防災の目的にも利用されるものになることを期待している。

謝 辞

本研究を行うに際して、東京地学協会の2000年度研究調査助成金を使用させていただいた。大阪市立大学の八尾 昭教授には、地質構造等に関して常日頃から議論

および御指導をいただいている。高知大学の藤田勝代さんには、静岡県瀬戸川層群の野外調査に御協力いただいた。以上の方々には心から感謝します。

文 献

- Ichikawa, K. (1990): Pre-Cretaceous Terranes of Japan. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A. eds.: *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. Publication of IGCP Project No. 224, 1-12.
- 柏木健司・横山俊治 (2000): 福井県大飯町赤礁崎の超丹波帯珪質粘板岩に発達する傾動構造. 第39回日本地すべり学会研究発表講演集(神戸), 103-106.
- 柏木健司・横山俊治 (2001): 重力性傾動構造における面構造の割れ目への転化と石英脈による構造規制. 福井県赤礁崎の超丹波帯珪質粘板岩互層の例. 日本地質学会関西支部会報 No.127 西日本支部会報 No. 117 合併号, 29.
- 横山俊治・柏木健司 (1996): 安倍川支流関の沢流域の瀬戸川層群に発達する斜面の傾動構造の運動像. 応用地質, 37, 102-114.
- 横山俊治・柏木健司・藤田勝代 (2000): 斜面診断におけるノンテクトニック褶曲の識別方法. 日本地質学会第107年学術大会(松江)講演要旨, 13.