

# ヨルダン・ジャラシュにおける地すべり地形の分布

佐々木明彦\*・長谷川 均\*\*・牛木 久雄\*\*\*

\*本学 地理・環境コース 准教授

\*\*本学 地理・環境コース 教授

\*\*\*元JICA国際協力専門員

キーワード：地すべり，空中写真判読，クルナブ層，ジャラシュ，ヨルダン

## I. はじめに

地すべりは斜面上の岩盤・岩塊や土塊が急速に下方に移動する現象であり、斜面の状態が安定から不安定に変化したときに発生する。地すべりは、狭義には、斜面内部に連続的なすべり面があり、それより上側の地塊がすべる現象であるが、広義には、それ以外に崩壊・崩落や落石、土石流などのマスマーブメントの総称として用いられることがある（千木良，2017）。とくに英語圏においてはLandslideの用語は広義に用いられることが多く、一般に狭義の現象である日本の地すべりを知るものにとって、日本以外の地で生じる地すべり現象の報告では議論の混乱が生じることがある（千木良，2017）。

筆者らは、中東のヨルダン・ハシミテ王国（以下、ヨルダン）において、変動地形や乾燥地の地形の調査を長年にわたって行ってきた（たとえば、東郷ほか，2011；長谷川ほか，2014；長谷川，2015；東郷ほか，2016；長谷川，2021；佐々木ほか，2023）。ヨルダンの西縁部を通るヨルダンバレー断層帯は、ヨルダン低地の湖成段丘面を変位させており、そのトレンチ調査の結果、少なくとも最近5000年間に3回の活動イベントが識別された（東郷ほか，2011）。このような断層帯の活動は巨大地震を引き起こしてきた可能性が高く、たとえば1927年7月11日にはヨルダン川西岸地区のジェリコ（Jericho）付近においてM 6.3のジェリコ地震が発生している（Niemi and Ben-Avraham, 1994）。

また、ヨルダン北部高原の白亜紀の石灰岩地域においては多くの地すべりが生じており（Al-Homoud *et al.*, 1995）、地震の発生によって地すべりが滑動する可能性が指摘されている（Dill *et al.*, 2012）。

ヨルダンにおける地すべりは、過去40年ほどの間に多くの問題を引き起こしてきた。最も重大な地すべり災害は、首都アンマン（Amman）から北方のジャラシュ（Jarash）、イルビド（Irbid）を結ぶ国際高速道路沿いにおいて1991年～1992年の大雨と降雪の後に発生した。家屋の倒壊のほか、建設中の高速道路が被災し、その開通が数ヶ月遅れた（たとえば、Malkawi and Taqieddin, 1996；Abderahman, 1998）。同様の地すべり被害は1983年3月4日～5日に発生した豪雨の際にも起きており、主要幹線道路に深刻な被害をもたらした（Farhan, 1986）。

ヨルダンにおけるこのような地すべりに対する研究は、工学的な側面からのアプローチがほとんどであり、理論的分析または数値シミュレーション、地形・地質解析によって斜面の不安定化問題の解決が試みられてきた（Al-Homoud *et al.*, 1995; Malkawi and Taqieddin, 1996）が、GISを用いた地すべりの地形分析（たとえば、Al-Sabbahhah, 2022）などでも、日本の地すべり研究においては一般的に作成される地すべり地形分布図が示されることはない。どこにどのような不安定な地形が存在するかを明らかにすることは、その地域における地形形成過程の理解に必要であることはもちろん、都市計画やインフラ

整備などの立案の際にも不可欠なものである。そこで本研究では、かつて地すべり被害が頻発したヨルダン北部のジャラシュ周辺を対象に、空中写真判読によって地すべり地形を抽出し、その分布図を示す。そして、それを踏まえて1992年に発生した地すべりの機構について考察する。

## II. 調査地域の概要

ヨルダンは中東の北緯29°11'~33°22'、東経34°59'~39°18'に位置する(図1)。国土の北ではシリア、東および南ではイラクやサウジアラビア、西ではイスラエルやヨルダン川西岸地区

と国境をなす。ヨルダンの面積は日本の約4分の1のおよそ9万km<sup>2</sup>で、標高600 m以上の地域が国土の86%を占める高原の国である(佐々木ほか, 2023)。アンマンをはじめヨルダンの主要都市のほとんどはこの高原に位置する。他方、国の西部には標高0 m以下の地域を含む谷が南北に細長く延びる。この谷はアフリカ大陸から紅海を通して続くグレート・リフト・バレーの北端部にあたり、その谷底には湖岸の標高が地球の陸地の最低標高地点である死海が位置する。死海の湖岸標高は2016年時点で-430 mである(Morina *et al.*, 2018)。死海を挟み、北側の谷はヨルダンバレー、同南側の谷はワディ・アラバとよばれる。

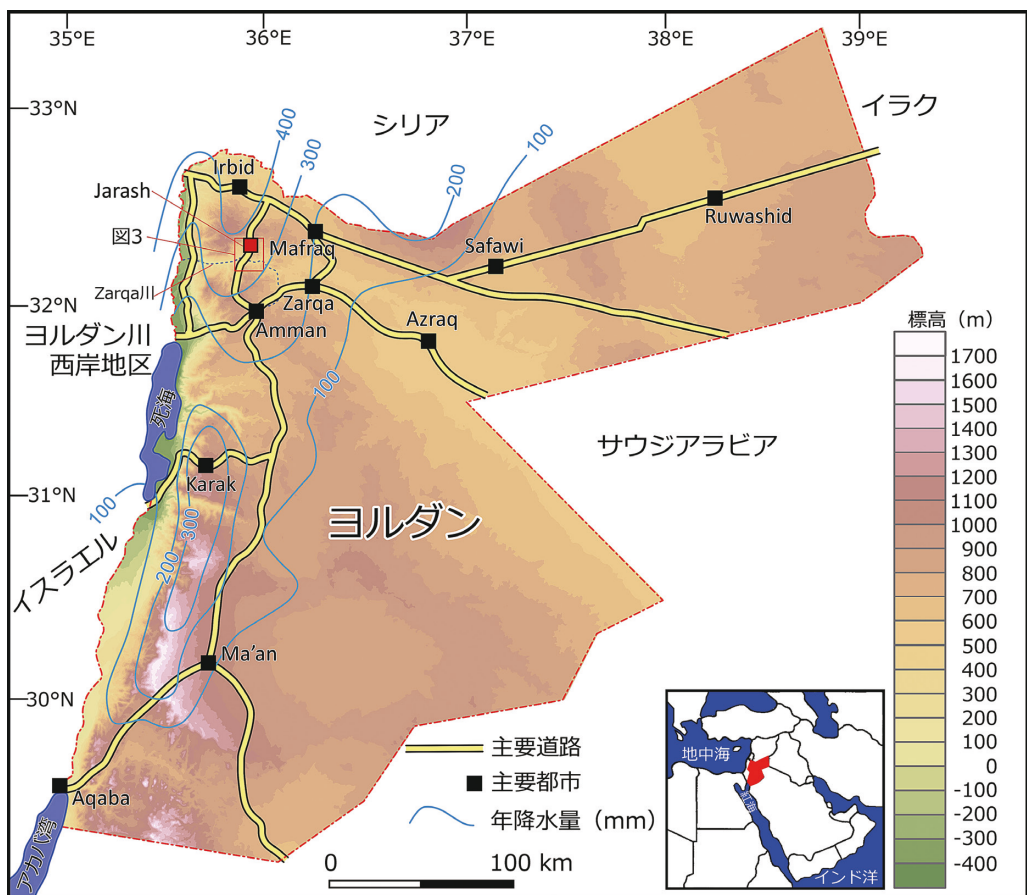


図1 ヨルダンの地形概要

高度分布を示す段彩図はASTER GDEMを使用して作成した。年平均降水量分布はAl-Ansari *et al.* (2005) に基づく。



図2 ヨルダン北部山地の景観

ヨルダンの国土のほとんどは乾燥気候下にある。ヨルダンの国土の90%以上は年平均降水量200 mm未満の地域であるが、アンマンからジャラシュ、イルビドにかけての北部高原では平均降水量が200~400 mmとなっている（図1）。これは、ヨルダンバレーの西向き斜面が谷底から高原まで標高差1000 mを超す急峻な斜面となっており、地中海から運ばれてくる湿った空気塊による地形性降雨がみられるためである。国土のほとんどは植生に乏しく、とくにヨルダン東部には砂漠がひろがるが、ジャラシュからイルビド付近では適度に降水が生じているため、アレップマツ（*Pinus halepensis*）などからなる森林が成立する（図2）。

調査対象のジャラシュは、ジャラシュ県の県都であり、首都アンマンの北方約50 kmに位置する（図1）。ヨルダンの国勢調査によれば、ジャラシュの人口は50,745人（2015年）である。ジャラシュの北方約25 kmにはヨルダンで3番目に人口の多いイルビド（人口286,187

人；2015年）が位置し、その北の延長はシリアである。このような都市の分布状況から高規格の道路建設の必要性が高まり、その建設が進められてきた。しかし、それらのプロジェクトの多くは山岳・丘陵地帯で行われてきたため、自然斜面の掘削や盛り土による人工改変によって深刻な斜面災害を生じさせた。たとえば、ジャラシュでは、旧ジャラシュ・ロードとアンマンーイルビド・ハイウェイを建設中に地すべりが発生した（Al-Homoud *et al.*, 1999）。アンマンーイルビド・ハイウェイはいわゆるキングスハイウェイの一部をなす。

### Ⅲ. ジャラシュ付近の地質・地形の概要

アンマンに端を発しヨルダンバレーの谷底に流出するザルカ（Zarqa）川は、この地域の丘陵を深く開析している。ザルカ川に建設されたキング・タラル（King Talal）ダムの下流側の谷壁斜面にはジュラ紀の石灰岩・砂岩互層であ



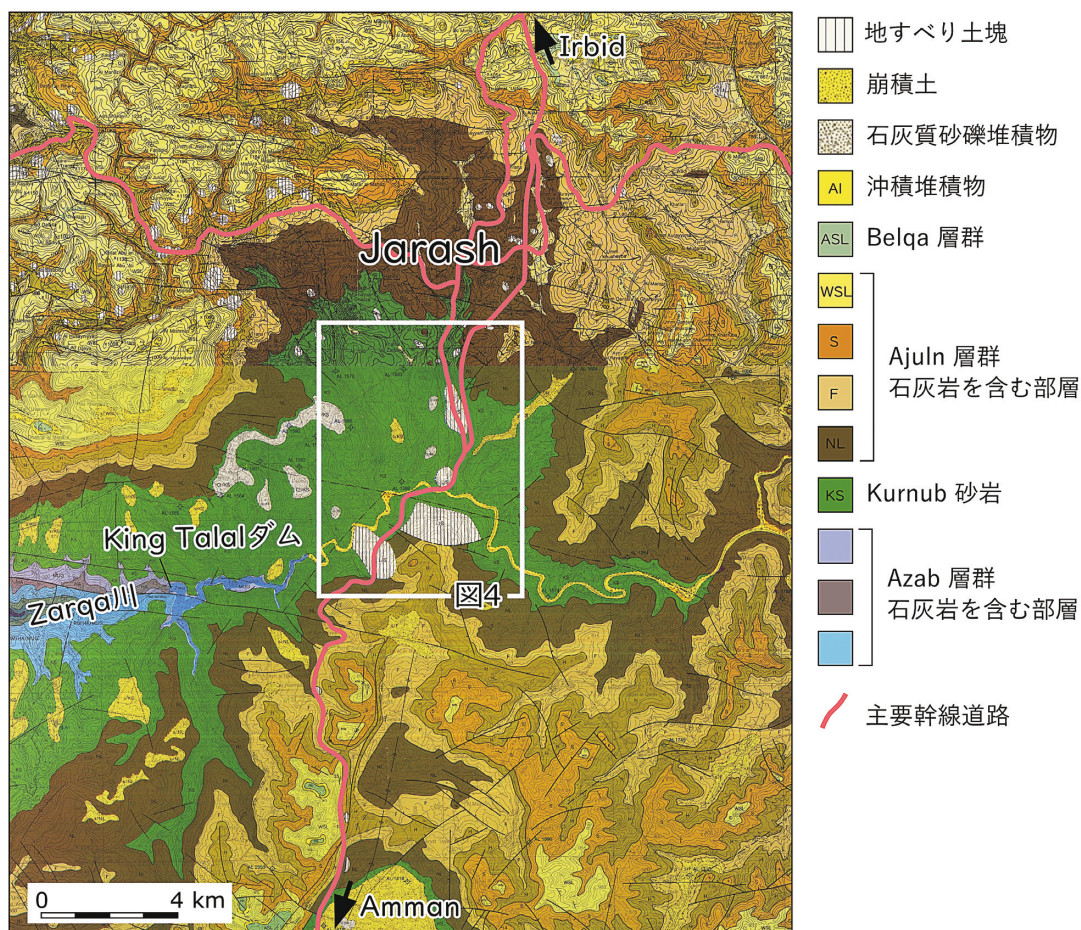


図3 ジャラシュ周辺の地質

ヨルダン資源エネルギー庁発行の5万分の1地質図「Jarash」および「Suwaylih」の一部に加筆して作成した。

るアザブ (Azab) 層群が露出し、その層厚は400 mに達する。一方、丘陵の頂部はひろく白亜紀上部のアジュルン (Ajuln) 層群とその下位の白亜紀下部のクルナブ (Kurnub) 層の分布域となっている (図3)。クルナブ層は層厚300~350 mで、下位のアザブ層群を不整合に覆う砂岩・石英質砂岩の互層である。その互層は淡水から汽水域の河川成の粗粒な砂岩からなる。砂岩にはクロスラミナが顕著に見られることが特徴であり、部分的には泥岩や石灰岩を挟む。クルナブ層の上位にはアジュルン層群が載る。アジュルン層群は全体の層厚が500 m以上におよび、各部層は石灰岩ないし細粒~中粒の

石灰質砂岩からなる (Sawariah and Barjous, 1993)。また、アジュルン層群やクルナブ層を切る大規模な地すべり土塊が分布する (図3)。

ザルカ川の中・下流では、ザルカ川がヨルダンバレーの谷壁を開析するため、谷底と高原の比高は1000 mを超える (図1)。ジャラシュ付近においては、丘陵背面の標高は約700 mであり (図4)、この図の範囲におけるザルカ川の谷底の標高は180 m~270 mであるので、ジャラシュ付近のザルカ川の谷底と丘陵背面の比高は最大で520 mとなる。また、この区間のザルカ川は、およそ9.6 kmの流程で標高差が90 mあるので、この区間の河床勾配は0.93/100とな



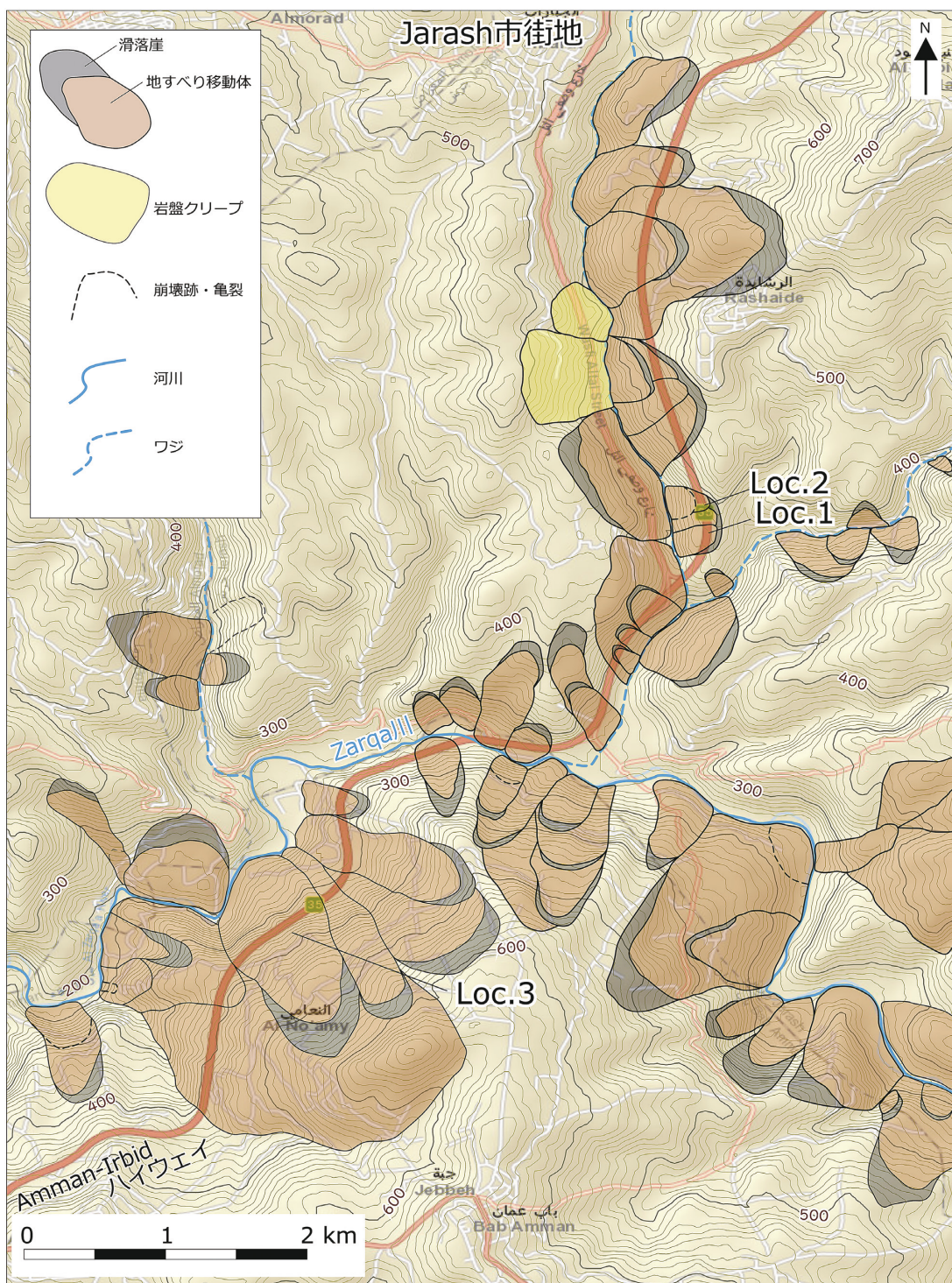


図4 ジャラシュ周辺の地すべり地形の分布

ASTER GDEMを利用して作成した10 m間隔の等高線図とESRIが公開しているWorld Street Mapを重ねて基図とした。

り、急流の部類に入る河川といえる。一方、ザルカ川の支流の谷底には流水は認められず、ワジとなっている。ザルカ川の支流の谷底は本川との合流点から標高を急に上げ、谷頭の標高はおおむね450~500 mとなる。したがって、丘陵背面とワジの谷底との比高は200 mほどまで減じる（図4）。

#### IV. 地すべり地形分布図の作成

##### 1) 調査方法

英国空軍によって1953年に撮影された2万5千分の1モノクロ空中写真を実体視判読して地すべり地形を抽出した。これらの空中写真は、本稿の著者のひとりである長谷川がヨルダン資源エネルギー庁にアーカイブされていた空中写真の存在を知り、現地においてスキャナを使用して300 dpiでデジタル化したものである。垂直写真は5,805枚あり、1/25,000と1/60,000の縮尺でヨルダンの国土のほとんどをカバーしている（長谷川ほか，2014；長谷川，2015）。これらの空中写真については、QGIS上で主点を検索し、ダウンロードできるようにシステムが構築されている（長谷川，2020）。本研究では、コース5-019~022、およびコース6-107~115の縮尺1/25,000空中写真を地すべりの判読に用い、抽出した地すべり地形をASTER GDEMを使用して作成した10 m間隔の等高線図に記載した（図4）。

##### 2) 地すべり地形の分布

空中写真を判読した結果、ヨルダン資源エネルギー庁発行の5万分の1地質図「Jarash」および「Suwaylih」（Sawariah and Barjous, 1993）に記載された地すべり土塊の範囲（図3）に比べ、かなり広く地すべり地形が分布することが明らかとなった（図4）。また、地すべりの大部分はクルナブ層に生じていることが明らかとなった（図3，図4）

地すべり地形は、縦断形が直線~凹形で水平

形が円形の滑落崖とその下方の地すべり移動体からなることが多い。地すべり移動体の縦断形は上に凸形で、末端が急傾斜になっていることが多いが、移動体の従順化が進み、あるいは移動体が抜けて、滑動ポテンシャルを失っていると考えられる場合もある。滑落崖と周囲の不動域との境界が非常にシャープである場合には、地すべり移動体の表面に圧縮・伸張による皺や亀裂などの微地形が確認でき、地すべり地形全体が新鮮に見える。一方で、滑落崖と移動体のいずれもが従順化し、両者が連続している地すべり移動体もみられる。これらとは別に、斜面が膨らんでいる場合があり、これは地すべりの前兆となる岩盤クリープ斜面と判断できる。

地すべり地形はザルカ川の谷壁とその支流の谷壁において、水平方向にほぼ連続的に見られる。前述のようにザルカ川の谷底と丘陵背面の比高は400~500 mあり、とくにザルカ川の谷壁斜面は急傾斜となっている（図4）。地すべりは、そのような丘陵頂部からザルカ川の谷底や支流のワジの谷底にかけて生じている。地すべりは基本的にスランプ型（後方回転型）の運動で滑動しているように見え、地すべり移動体に副次的な滑落崖が生じ、全体として地すべり複合体を形成していることが多い。地すべり移動体の先端は谷底に達し、谷底を押していることが多い。その場合は、流水の侵食によって地すべり移動体の先端が不安定化することで地すべり移動体の滑動が生じ、地すべり移動体の分化が進むものと考えられる。また、谷底に到達した地すべり移動体の先端がザルカ川の攻撃斜面に面する場合もあり、その場合は先端の地すべり移動体の不安定化がとくに進みやすく、地すべり全体の解体は進行しやすいと考えられる。いずれにしても、この地域に見られる地すべり地形は、境界が新鮮で、地すべり移動体の傾斜は急で比高も大きく、滑動ポテンシャルを十分に有しているものが多いことが空中写真判読によって明らかとなった。



## V. 地すべり地形の現地での観察

1992年の大雨・大雪後に滑動したことが知られている地すべり地形（たとえば、Al-Homoud *et al.*, 1998）を現地で観察した。Loc.1とLoc.2はアンマンーイルビド・ハイウェイの建設現場において地すべりが発生した地点である（図5）。1992年は1940年以降最大の700 mmの年降水量がもたらされた結果、地下水位が上昇したことにより、地すべりが発生したと考えられる（Malkawi and Taqieddin, 1996）。ただし、1953年の空中写真の判読では、もともとの地すべり移動体の先端は傾斜が急で河床との比高

が高く、先端崩壊も認められるので、そもそも滑動ポテンシャルが相対的に高い地すべり移動体であったことが考えられる。そのような地すべり移動体を掘削したことによって、掘削面より上側の地すべり移動体が不安定化し、地下水位の上昇による間隙水圧の上昇も生じ、クルナブ層内の壊れやすい石灰岩層が滑り面となり、地すべりが発生した可能性が考えられる。1992年と同規模の地下水上昇が生じた場合には地すべりが再び滑動する可能性があり、現在も土砂移動を防ぐための法面対策は継続されている（図6、図7）。

Loc.3の地すべりは、ヨルダン資源エネルギー庁発行の1/50,000地質図「Suwaylih」（Sawariah

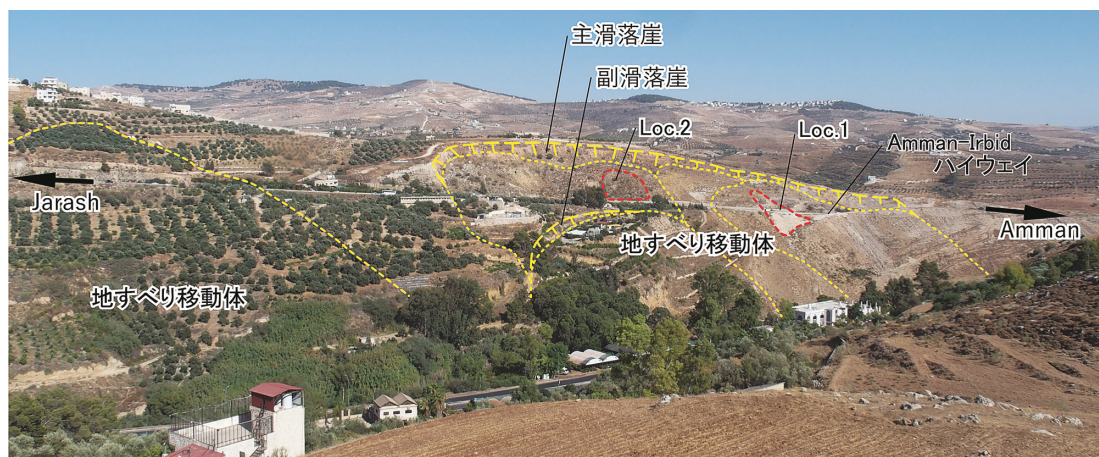


図5 1992年に地すべりが発生した地点の遠景

赤破線は1992年に地すべりを起こした範囲を示す。Loc.1およびLoc.2の位置は図4を参照。



図6 Loc.1における地すべりの状況

位置は図4に示した。





図7 Loc.2における地すべりの状況  
位置は図4に示した。



図8 Loc.3における地すべりの状況  
位置は図4に示した。

and Barjous, 1993) でも地すべり土塊として分類されている巨大な地すべりの移動体の一部を壊して発生した。Loc.1およびLoc.2と同様に高規格道路の建設にともなう地すべり移動体の一部の掘削が岩盤不安定化の原因のひとつであるこ

とは間違いない。この地すべり移動体は1.5 kmほどの斜面長を有し、クルナブ層とその上位のアジュール層群からなる地層がスランプを起こしている。このため、地すべり移動体をつくる地層は受け盤構造になっているようである（図8）。



道路が建設された地すべり移動体の中腹ではクルナブ層がみられ、その砂岩や石灰質砂岩が崩壊したと考えられる。

## VI. おわりに

本稿では、ヨルダンのアンマン－イルビド・ハイウェイの建設時に地すべりが頻発したジャラシュ周辺の丘陵において、1953年撮影の空中写真を実体視して地すべり地形を判読し、地すべり地形の分布図を作成した。道路建設が計画され工事が行われると、それまで潜在的だった地すべりの危険が顕在化した。同地域ではこれまでに地すべり地形の分布図が作られたことはなく、そもそもどこにどのような不安定な地形が存在するかを考慮せずに道路建設計画が立案されたことに大きな問題があったといえる。今後のインフラ整備や都市計画の際に、地すべり地形の存在は大きな問題になり得る可能性があるため、地すべり地形の分布を明らかにすることは非常に重要である。本稿では地すべり地形の分布を示すにとどめたが、今後は地すべり地形の詳細判読を実施し、移動体の地表状況などを整理し、ひとつひとつの地すべりの活動度の評価を行う予定である。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、公益財団法人JFE21世紀財団・アジア歴史研究助成「平和の回廊ヨルダン渓谷の景観変化と開発史・地域構造に関する研究（代表者：長谷川 均）」を使用した。

## 文 献

佐々木明彦・東郷正美・長谷川 均・牛木久雄 (2023)：ヨルダン高地東部のBadiaにみられるQa'aの地形的特徴. 国土館大学地理学報告, **31**, 1-11.  
千木良雅弘 (2017)：地すべり. 日本地形学連合編『地形の事典』332, 朝倉書店.  
東郷正美・長谷川 均・石山達也・後藤智哉・牛木久

雄・Mahmoud A. Q. (2016)：ヨルダン・ヴァレー断層帯の最新変位痕跡. 法政大学多摩研究報告, **31**, 1-10.

東郷正美・長谷川 均・Tawfiq A. Y.・Mahmoud A. Q.・石山達也・岡田真介・竹内えり・牛木久雄・今泉俊文 (2011)：死海トランスフォーム断層に沿うヨルダン・ヴァレー断層帯の活動履歴. 日本地理学会発表要旨集, **79**, 316.

長谷川 均 (2015)：ヨルダン渓谷と周辺の自然環境. 地図中心, **518**, 6-9.

長谷川 均 (2020)：ヨルダンを撮影した歴史的空中写真の検索・表示・カラー化システムの構築とそれを活用した国土館ヨルダンプロジェクト. 国土館大学地理学報告, **28**, 1-14.

長谷川 均 (2021)：ヨルダン：大地溝と高地、砂漠の大地. 科学, **2021-10**, 967-970.

長谷川 均・後藤智哉・東郷正美・Mahmoud A. Q.・牛木久雄・竹内えり (2014)：ヨルダンを撮影した1950年代初頭の空中写真 その概要と保存修復. 文化遺産学研究, **7**, 131-141.

長谷川 均 (2015)：ヨルダン渓谷を撮影した1950年代初期の空中写真. 地図中心, **518**, 24-27.

Abderahman, N. S. (1998)：Landslide at km 56.4 along the Irbid-Amman Highway, Northern Jordan. *AAPG Division of Environmental Geosciences Journal*, **5**, 103-113.

Al-Ansari, N. and Baban, S. M. (2005)：Rainfall trends in the Badia Region of Jordan. *Surveying and Land Information Science*, **65**, 233-243.

Al-Homoud, A.S., Taqieddin, S. and Saket, S. (1995)：Investigation on the geological and geotechnical factors leading to a major slope failure at a selected site on a Jordanian highway. *Natural hazards*, **12**, 203-224.

Al-Homoud, A.S., Malkawi, A.I.H. and Basma, A. A. (1998)：Back analysis technique for slope stabilization works of embankment landslide due to foundation instability. *Soils and Foundations*, **38**, 1-15.

Al-Homoud, A.S., Prior, G. and Awad, A. (1999)：Modelling the effect of rainfall on instabilities of slopes along highways. *Environmental Geology*, **37**, 317-325.

Al-Sababhah, N. (2022)：Development of Landslide Susceptibility Mapping Using GIS Modeling in

- Jordan's Northern Highlands. *Environment and Ecology Research*, **10**, 701-727.
- Dill, H.G., Hahne, K. and Shaqour, F. (2012): Anatomy of landslides along the Dead Sea transform fault system in NW Jordan. *Geomorphology*, **141**, 134-149.
- Farhan, Y. (1986): Landslides in Central Jordan with special reference to the March 1983 rainstorm. *Singapore Journal of Tropical Geography*, **7**, 80-97.
- Malkawi, A.I.H. and Taqieddin, S. A. (1996): Geotechnical study of landslides resulting from a highway construction in Jordan. *Natural hazards*, **13**, 1-15.
- Masannat, Y. (2017): Site Investigations, Treatments, and Construction Regulations in Landslide-Prone Areas in Jordan. *The 7th Jordanian Int. Civil Eng. Conference, May 9-11, 2017*. 22p.
- Morina, E., Rybb, T., Gavrielic, I. and, Enzela, Y. (2018) : Mean, variance, and trends of Levant precipitation over the past 4500 years from reconstructed Dead Sea levels and stochastic modeling. *Quaternary Research*, **91**, 751-767.
- Niemi, T.M. and Ben-Avraham, Z. (1994): Evidence for Jericho earthquakes from slumped sediments of the Jordan River delta in the Dead Sea. *Geology*, **22**, 395-398.
- Qutieshat, R. and Al-Assaf, T. (2022): The Relationships between Urbanization, Altitude Variability and Disaster Risk Management, Evidence from Jordan. *Sustainability*, **14**, 1-21.
- Sawariah, A. and Barjous, M. (1993): 『*The geology of 1:50000 Suwaylih map sheet*』, Natural Resources Authority, Amman, Jordan.