

歴史的空中写真の保存修復と ヨルダン・ハシェミット王国の景観・地形の復元

長谷川均、岡田 真介、石山 達也、後藤 智哉、東郷 正美



英国空軍第 14 飛行隊の Vickers Wellesley 偵察機 1939 年春 アンマン上空 RAF 博物館所蔵写真

©Crown Copyright IWM. 「THE ROYAL AIR FORCE IN THE INTER-WAR PERIOD」

Hashemite Kingdom of Jordan の日本語名については、申請時にヨルダン・ハシュミテ王国と記したが、本報告書では外務省表記のヨルダン・ハシェミット王国と改めた。

歴史的空中写真の保存修復と ヨルダン・ハシェミット王国の景観・地形の復元

長谷川均¹⁾、岡田 真介²⁾、石山 達也³⁾、後藤 智哉⁴⁾、東郷 正美⁵⁾

1) 国土館大学・文学部 2) 東北大学・災害科学国際研究所 3) 東京大学・地震研究所
4) 国土館大学・イラク古代文化研究所 5) 法政大学・社会学部

キーワード：歴史的空中写真、修復保全、景観復元、変動地形分布図、

1. はじめに

筆者らは、2005年以降ヨルダン・ハシェミット王国（以下、ヨルダンと略す）で自然地理学を中心とした分野で調査をしてきた。この間、現地共同研究者の所属機関ヨルダン天然資源局（Natural Resources Authority（NRA））の倉庫で、死蔵された多数の歴史的な空中写真を発見した。これらの多くは、ヨルダン渓谷で大規模な開発が始まる前の1950年代に撮影されたものである。英国やヨルダン国内で調査した結果、空中写真は英国空軍測量部隊により1950年代初期に撮影されたものであること、王立ヨルダン地理院（Royal Jordanian Geographic Centre（RJGC））で廃棄処分された後に移管されたものの現在は全く利活用されておらず劣化が急速に進行中であることがわかった。

現在のヨルダン川流域では、イスラエル、ヨルダン川西岸、ヨルダンともに開発が進み灌漑による一大農作物生産地と化し大規模な地形改変が進行している（図1、2、付録1、2）。また、死海の急激な海面低下によると思われるシンクホールの出現と農耕地や住宅地の陥没という災害も沿岸域で頻発するようになった（D. Closson, N. A. Karaki (2009)）。

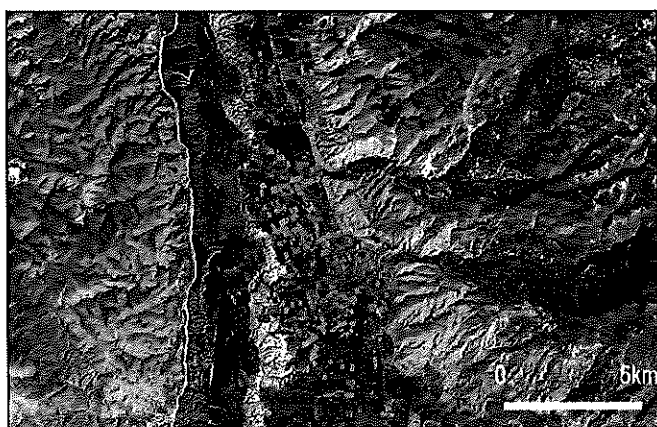


図1 ヨルダン川下流域の農地 LANDSAT ETM+ 2002/3/8
蛇行するヨルダン川の東（ヨルダン側）には整然とした農地が広がる。灰色の矩形はビニールハウス。

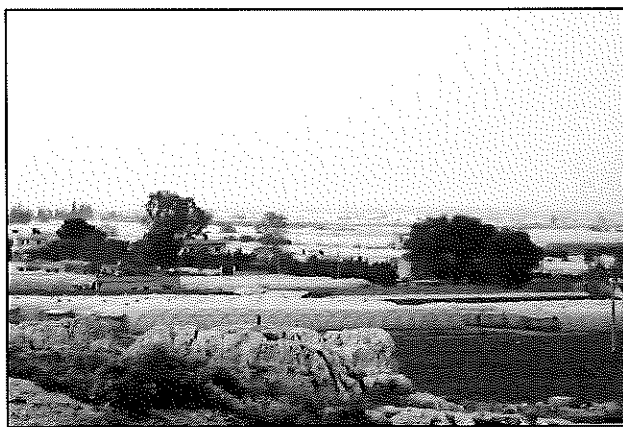


図2 ヨルダン川東岸のビニールハウス群

現地で眺めると全耕地がビニールハウスで被われているように見える。写真のビニールハウスの中では、トマトが栽培されていた。ハウスの多くは日本の支援で造られたもの。

死蔵された大量の空中写真は、1950年代初頭の豊かな自然を記録した歴史的に非常に価値の高い空中写真群である。しかし、印画紙に焼き付けられた写真は薬剤の化学変化に伴う劣化が進み保存と修復作業は急務である。本研究では、写真のデジタル化による保存修復が一つの目標であるが、保存した写真を活用する研究として2章で述べる②、③も研究の目的としてあげた。

対象地域では、1950年代以降、米国、旧ソ連、ヨルダン等により1/5万、1/2.5万地形図が整備されている（後述）。また、1970年代以降の衛星画像が利用できる。1960年代に撮影された偵察衛星コロナの画像が存在するが、ヨルダン溪谷の部分は空中写真より解像度が悪い。現在、ヨルダンでは王立地理院で空中写真の撮影が行われているもののヨルダン溪谷では大規模な開発の進行でこれらの写真からオリジナルな地形を捉えることは不可能な状況である。従って歴史的写真を使った地形判読、景観の復元は非常に価値が高い。

我々は、本研究申請時点で数百枚の写真をデジタル化し研究期間内に3,555枚をデジタル化した。これまでにデジタル化した空中写真でヨルダン溪谷の大部分をカバーしたとみられる。しかし、ヨルダン天然資源局には、すでにデジタル化した空中写真より小縮尺な空中写真が約2,000枚程度保管されている。まだ手を付けていないこれらの写真を含めると、死蔵された写真はヨルダン国土の広い範囲をカバーする可能性が高いことも判った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下にあげる3点である。

- ①：1950年代に撮影された歴史的に価値のある空中写真をデジタル化し保存するとともにデータベースを整備する。成果はヨルダンと日本で共有する。
- ②：おもに1950年代に撮影された空中写真を使って、ヨルダン溪谷および周辺地域の地形、植生景観を復元する。
- ③：死海トランスフォーム断層に接するヨルダン全域の変動地形を空中写真判読により抽出し、この地域で初の高質で均質的な活断層資料を作成する。

目的①に関してヨルダンにおいて類似の試みは皆無である。また、目的②に関しては従来の研究は考古学的資料に基づく数百年から1,000年単位の景観復元が主であり、環境破壊が進行した数十年間の景観復元に関する研究はない。さらに、目的③に関してはプレート境界に位置するにもかかわらず、限られた一部地域での調査事例は存在するが広域にわたる均質的な変動地形の把握は行われていない。したがって、本研究によって、防災科学や防災施策に対する多大な貢献が期待できる。

3. 調査地域の概要

本章の内容は、空中写真の歴史的空中写真の保存修復と直接関わるものではない。しかし、他のテーマである「景観・地形の復元」に関するであり一章を設けて記述する。なお、本章の記述は筆者の一人がかつて執筆したもの（長谷川、2009）を改訂した。また引用した地名は、おもに金子（1997）、杉本（2008）にしたがった。

1)、ヨルダンの地理的な特徴

ヨルダンは、89,213km²の面積をもつがこれは日本の北海道よりやや広い程度の広さである。また、ヨルダンの北端と南端の緯度は、北緯 33° 23 と北緯 29° 10 であるが、これは日本の九州北部から奄美大島付近の緯度に相当する。ヨルダンは、北でシリアと、南と東でサウジアラビア、北東でイラクと接し西はイスラエルとパレスチナのヨルダン川西岸地域と接している。海岸は、ヨルダン南端のアカバ湾岸でみられるが海岸線の長さはわずか 30km ほどである。

ヨルダンで標高のもっとも高い山は、ヨルダン高地（後述）南部にあるラム山で 1,754m であるが、その一方で国土の 20%は海面下にあり、ヨルダン溪谷の中央に位置する死海の現在の湖面高度は海面下約 420m 程度である。アカバ湾と死海やヨルダン川は、ヨルダンの西部を南北に走るヨルダン溪谷にある。このヨルダン溪谷は、アフリカから紅海を経てトルコへつながる大地溝帯の北端に位置する（図 3、4）。大地溝帯は、両側を急崖で限られた深く長い窪地であるが北部のガリラヤ湖付近で海面下約 210m、死海湖面で海面下 420m（年々低下している）であり、世界で最も低い土地となっている。この低地を南下し死海に注ぐ川がヨルダン川である。また、いっぽうアカバの北方約 75km にヨルダン溪谷の谷中分水界がある。この付近から死海に向かって北へ流下する多数のワジ（涸れ川）があり、この地域がアラバの谷（ワジアラバ；後述）とよばれる地域である。

ヨルダン溪谷以東のヨルダンの地形は、西高東低といわれる。ヨルダン溪谷に臨む急崖の西側は南北に沿って高地（ヨルダン高地）が続くが、それより東は徐々に高度を減じてサウジアラビアの砂漠地帯へと続くからである（図 3）。このように、ヨルダンは 1) ヨルダン溪谷、2) ヨルダン高地、3) 東部の砂漠（ヨルダン砂漠）という三つの大きな地域に分けられることになる。

なお、ヨルダン周辺の景観の変遷に関しては、最近になって Carlos E. Cordova (2007) がまとめている。この研究は、過去 1000 年程度に限ったものであるが Geoarchaeology と Cultural Ecology

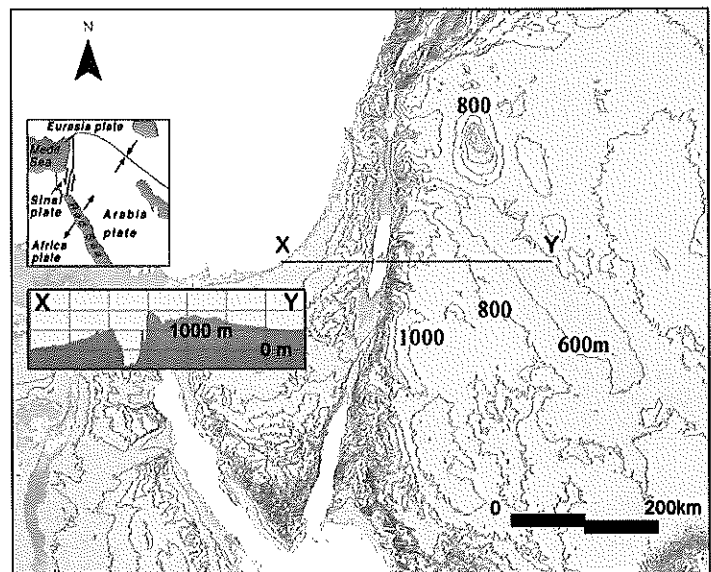


図3 ヨルダン、シナイ半島付近の地形

図の中央を南北に走る凹地がヨルダン溪谷。スペースシャトルによって取得された30°メッシュのデジタル標高モデル) をもとに作成した等高線間隔200m の地形図。

の観点から、植生などの変遷をまとめたものである。E. J. Van Der Steen (2003) によれば、ヨルダン溪谷の景観は約 50 年前から近代的な農業の導入によって劇的に変化したとされる。灌漑の導入や技術の進歩、農業技術の改良や近代的な設備の導入で、自然が色濃く残っていたヨルダン川流域は急速に野菜や果実の一大生産地へと変貌するとともに、土地改変と土地利用の変化が急速に進行した。

2) ヨルダン溪谷周辺の地形・地質

アジアの西端、地中海の東に位置するこの地域には、アラビアプレートとアフリカプレート（シナイ半島の部分をシナイプレートとする場合がある）の境界がある。ヨルダン溪谷は、アラビアプレートの西縁にあたり、両側を断層で限られたとされる幅 10~20km ほどの地溝を形成している。また、ヨルダン溪谷は、アフリカ大地溝帯から続くプレート境界の北部にもあたり、北端はアラビアプレートとユーラシアプレートの境界まで続く（図 3、4）。ヨルダン溪谷とよばれるのは、地形的には紅海から北東に入り込んだアカバ湾から、この北端の部分までのことであるが、一般には湾奥部のアカバから、ガリラヤ湖の北部付近までの約 350km をさすことが多い。

研究期間中の主たるフィールドワーク実施地域である死海以北は、シリア、イスラエル、ヨルダン川西岸地区に接している。この地域は、南レヴァントとよばれる古代イスラエル王国周辺を指す地域の一部でもある。南レヴァントは、地中海から東に向かって海岸平野、中央山地、ヨルダン溪谷、トランスヨルダン高地の南北に走る带状地域に分けられる（図4）。死海の西に中央山地のユダの荒地、東にトランスヨルダン高地のモアブの高地が南北に延び、死海の北にヨルダン川南にアラバの谷がある。二つの谷はいずれも海面下420mの死海に下る。

ユダの高地は、地中海へ緩やかに続くが東側のヨルダン溪谷との境界は崖である。モアブの高地も東の砂漠地帯へ緩やかに下るが、西の溪谷との境界はやはり崖をつくる。この地域はアフリカから続く大地溝帯の北端に位置し、南北に延びる巨大な凹地は、両側を併走する複数の断層で限られた地溝帯をつくる。

地溝の崖といっても、切り立つ壁が両

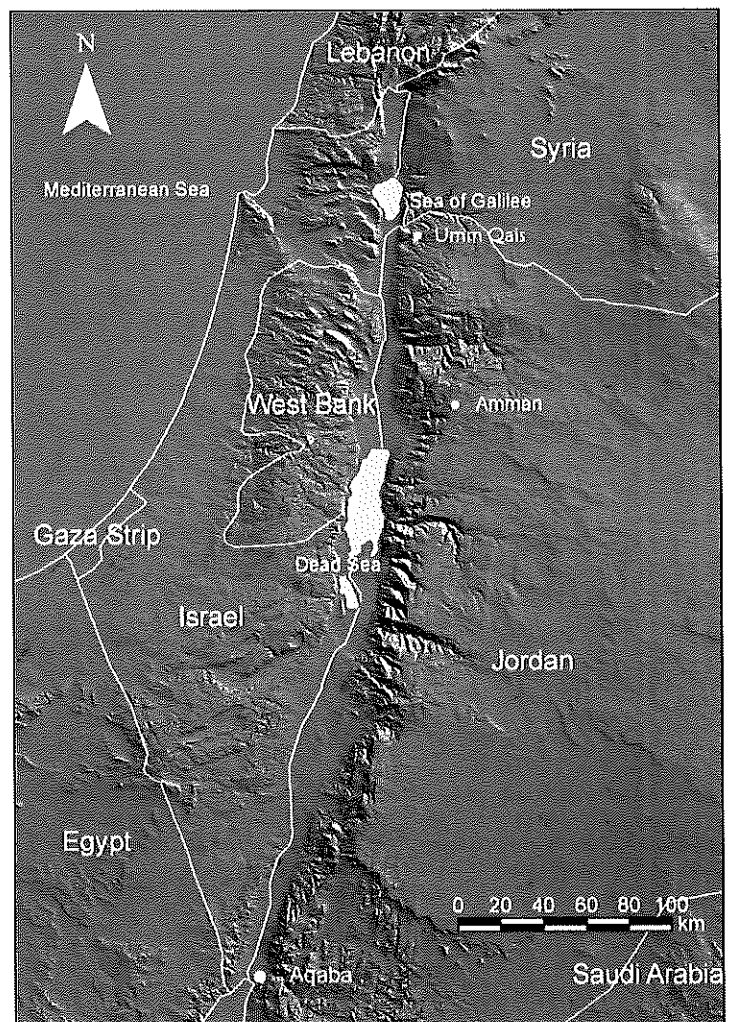


図 4 ヨルダン溪谷周辺の地形

中央がヨルダン溪谷。溪谷に沿って東側にヨルダン高地が南北に続く。

側にそびえるわけではない。この部分では、中生代白亜紀の堆積物からなる急斜面が比高千〜千数百m程のヨルダン溪谷の谷底へ降りてゆく。斜面を下るワジは、大地を切り裂いて死海へ続くが、時には濁流であふれる暴れ川となる。ここには、隆起する崖に特徴的な大規模な地すべりが多数分布する場所もあれば、扇状地が崖沿いの谷底に続く場所もありダイナミックな地形が展開する。なお、断層崖下のヨルダン溪谷は、第四紀を通じて湖成環境が継続していたことからリサン層とよばれる上部更新統の湖成堆積物や現世の堆積物で被われている。

ガリラヤ湖からアカバ湾までのヨルダン溪谷は、海拔高度や地形・地質的な特徴から北から順に次の3つの地域に分けられる。まず、1) ガリラヤ湖周辺の海拔-210m 付近の地域、2) 死海周辺の-420m 付近の地域、3) 死海南部からアカバ海岸までのワジアラバ (Wadi Araba) とよばれるワジと荒地からなる地域である (Wadi とは潤れ川、Araba とは荒地の意味)。ガリラヤ湖から死海までのヨルダン溪谷北部は、ヨルダン川の沖積低地にあたる。ここでは現在、両岸でヨルダン川の水や地下水を利用した大規模な灌漑農業が営まれている。南部の Wadi Araba は紅海に近く、植生の乏しい地域である。ここでは、古生代の砂岩からなる山地や砂丘、先カンブリア代の結晶質の岩石などが露出した荒地が広がっている。

ヨルダン溪谷の東側には、標高数百〜1000mのヨルダン高原が南北に連なる。高原は東側へ緩やかに下り、やがて東部の砂漠につながる。いっぽうヨルダン溪谷の西側はイスラエル領で、標高数百〜1000mほどのエフライムの高地、ユダの高地などが南北に連なり、その西側は数十キロを経て地中海に緩やかに下る。両側とも、溪谷からの比高は最大で千メートル以上に達する (図3)。

なお、ヨルダン溪谷の北端に位置するガリラヤ湖 (Sea of Galilee) は、ローマ帝国統治時代にはティベリアス湖とよばれ、またヘブライ語では豎琴の形状に似ることからこれを意味するキレネット湖ともよばれる。この湖の北には、1950年代までフラ湖 (Lake Hula、長さ 5.3km、幅 4.4km、面積 12〜14km²、水深 1.5m (夏)〜3m (冬)) が存在したが (図5)、現在は周辺の湿地とともに排水工事が行われほとんどが農地などに変わりわずかに湿地が残るだけである (D. Kaplan, A. Kadmon, 1999)。

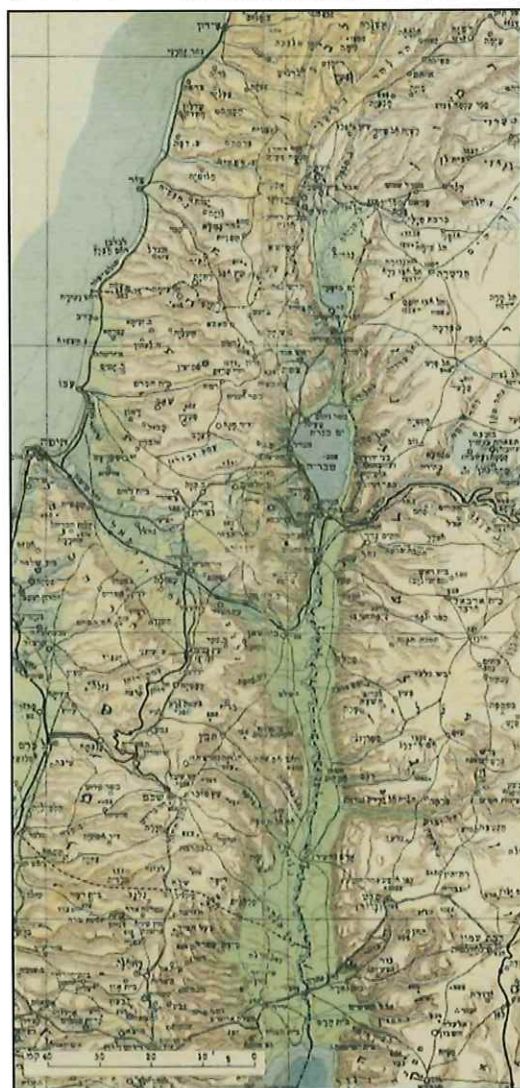


図5 1920年代のヨルダン溪谷北部

1925年発行の地図。南端に死海の北岸が見える。ガリラヤ湖の北にフラ湖が描かれている。フラ湖は1950年代に干拓により消失した。

3) ヨルダンの気候

ヨルダンの主要都市アンマン、ザルカ、イルビッド、サルト、マダバ、アカバのうちアカバ以外の5つは700～1,100メートルの高所に位置する。そして、それらは地中海性気候の地域である。地中海性気候の一般的な特徴として、夏は亜熱帯高圧帯に入るために乾燥し、冬は亜熱帯高圧帯に入りまた湿った偏西風の影響で一般に雨が多くなる。実際にヨルダンの西側では、11月から3月までの比較的雨の多い季節とそれ以外の乾燥した季節に分けられ、典型的な地中海性気候の特徴をもっている。ヨルダン渓谷一帯は、おおむね湿った地中海からの西風の影響下にあるが、時には砂漠から吹く乾燥した東風の影響を受けることもある。

ヨルダン渓谷北部の月平均気温は15℃～30℃であり、湿度は30～70%の範囲にある。卓越風向は西あるいは南西であるが、冬から春にかけては東寄りの風に変わる。ヨルダン渓谷では、気温の変化が大きく冬期には厳しい霜害が発生することがあるいっぽうで、夏期には40℃～50℃近い高温にさらされることもある。ヨルダン北部の降水量の大部分は雨によってもたらされるが、ヨルダン高地では時に降雪をみることもある（Basem K.Moh'd, 2000）。

ヨルダンの東側は、年降水量がおよそ120mm未満であるが、ヨルダン渓谷の東側に連なるヨルダン高地では南部で300mm程度あり北に向かって徐々に増加して、北部ではおよそ400～500mm程度になる（図6）。図7に、この地域の代表的な都市であり、Umm Qaisの東20kmにあるイルビッドの雨温図を示す。イルビッドの降水量は、11月から3月までの5か月間で年間の90%を占めこの時期が明瞭な雨期、それ以外が乾期（4月から10月）となる。気温は冬の雨期に低く夏の乾期に高い。

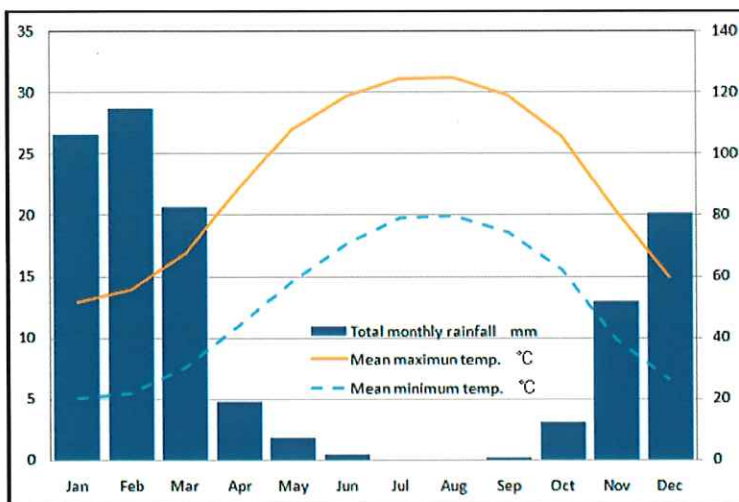


図7 イルビッドの雨温図

イルビッドは、図6のUMM QAIS東方20kmにある。ここは、雨期（11月～3月）と乾期（4月～10月）をもつ典型的な地中海性気候である。http://met.jometeo.gov.jo の1976～2005年のデータより作成。

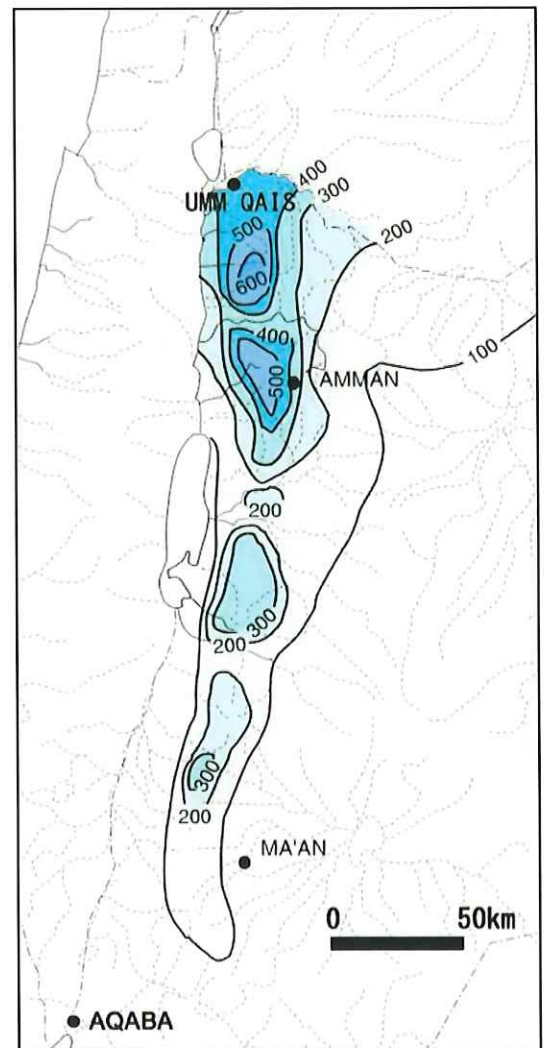


図6 ヨルダンの年平均降水量分布 (mm)

D.L.Kennedy(2004)を一部改変。ヨルダン高地に沿って降水量が多く、また北部ほど多い。

1976年から2005年までの30年間の資料をみると、年降水量の最小値は214mm（1999年）、最大値は878mm（1992年）、年平均降水量は469mmであった。年降水量の変動は大きく、標準偏差は153.3であるが降水量の経年変化に一定の傾向は認められない。また、月降水量の変動も大きく、一ヶ月間にその年の年降水量の大部分が降る年もある（図8）。

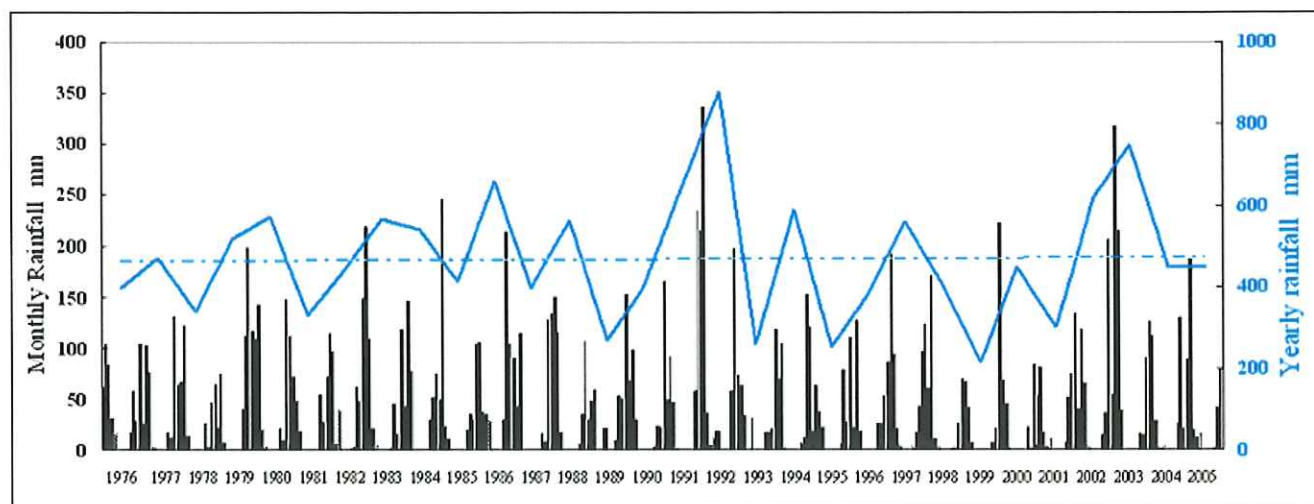


図8 イルビットにおける30年間の年・月降水量の変化

降水量は著しい変化をみせる。曲線は年降水量、破線はその近似値を示す。<http://met.jometeo.gov.jo> の1976～2005年のデータより作成。

4. 調査・研究の方法

1) 空中写真のデジタル化

本研究では、60年ほど前に撮影された歴史的空中写真をデジタル化して修復保存するが、その総数は数千枚になると予想される。写真はおおよそその地域毎に束ねられ、ロッカーに収納されている（図9）。しかし、雑然と納められたままで系統的に整理されておらずホコリを拭き取りながら、地域や撮影番号などを揃える必要があった。これらの写真のうち、研究期間終了時に2)で述べる方法でデジタル化が完了したものは3,555枚である。



図9 ヨルダン天然資源庁における空中写真の保管状況

デジタル化した画像データはHDDに保存するとともに、カラーレーザープリンタを使って総てを普通紙に印刷した。また一部は、高品質な写真画像として印刷保存する予定である。デジタル化した空中写真を保存したメディアは、空中写真の現在の所有者であるヨルダン天然資源局と日本の双方で保管している。また、これらとは別にヨルダン全土をカバーする最近の空中写真の中から一部を購入し、歴史的空中写真の図化の際に使用する予定である。変動地形の抽出等写真判読は、基本的にデジタル化したすべての写真を対象に行い、現在までにヨルダン溪谷北部（死海より北の部分）については終了した。

2) 空中写真の保存と修復方法

歴史的空中写真は、現地に持参したA3版フラットベッドスキャナーにてデジタル化作業を実施した。当初はこの作業をヨルダン天然資源局内の施設で実施していたが、政府機関の業務時間は午前8時頃から午後3時頃までであるため、2012年夏以降はヨルダン天然資源局の近隣ホテルに大量の写真、デジタル化機材を運び込み昼夜にわたって作業を実施した。なお、デジタル化に際し当初は600dpiのtiffデータで保存したがデジタル化に要する時間が多大になるため、300dpiのtiff画像で保存することにした。この場合、1枚のモノクロ写真のデータは15MB～25MBのサイズになる。デジタル化した画像は、後述するようにグーグルアース（または小縮尺地図画像上）に標定しサムネイル画像を展開して検索出来るようなシステムを構築しつつある。

保存されている空中写真は、印画紙の劣化により写真表面の剥離、折れ曲がり、欠損などがあるものがある。さらに、モノクロ写真特有の黄変劣化などが見られる。著しい黄変劣化は、おもに汎用画像処理ソフト（フォトショップ）でレベル補正等の作業を施しグレースケール画像に変換した。また、油性鉛筆、インク等で記入された文字、ライン、図形が書き込まれている写真が多数ある。これらは地質境界や水系に沿って描かれたものが多く、おそらく地質図作成の過程で積極的に利用された痕跡と推測される。空中写真への書き込みは、プラスチック消しゴムを使ってできる限り消去した後にデジタル化作業を実施した。なお、ヨルダンの地質図は天然資源局により全土が1/5万スケールで刊行されている。

写真判読は、オリジナル印画紙、あるいは普通紙に印刷した空中写真を使い実体視によって行った。判読結果は、地形図上に転写しているが、今後はこれらをGISソフトで地形図、空中写真上などに表示できるようにする予定である。変動地形判読に関しては、ヨルダン溪谷北部（死海より北の部分）に関して終了した。判読結果をもとに、ヨルダン溪谷全域の変動地形分布図を作成し、最終的にはヨルダン・ハシェミット王国全域に拡げる予定である。なお、変動地形の認定に際し必要に応じて現地調査を実施した。現地調査は、ヨルダン天然資源局により四輪駆動車等の提供を受けた。

なお、ヨルダン溪谷および周辺地域の地形、植生景観を復元するという目的に関しては、

現在のところ、写真のデジタル化、修復、変動地形の判読と調査に時間をとられ作業が遅れておりほとんど進捗していないのが実情である。以上のような作業の流れをまとめると、以下ようになる。

(1) ヨルダンでの作業

空中写真の整理 → デジタル化 → デジタル修復と保存 → 写真判読→現地調査

(2) 日本での作業

標定図の作成→写真判読→判読結果の図化、変動地形等の図化、植生景観の復元

(3) 対象範囲

対象とする写真の範囲 ヨルダン全土

現地調査 ヨルダン渓谷および周辺地域から全国へ拡げる

中東地域において、本研究と同様の調査・研究事例は無い。歴史的にも重要な過去の空中写真をデジタル化により保存し、さらにこれらを使って大規模人工改変以前の、景観や地形の復元を目指すところに本研究の特色がある。最終的には、ヨルダン全土で、均質で高精度な変動地形分布図、地形分類図を作成できると予想されるが、現在は研究期間内においてこれらの作業は完了しなかった。次章以降は、研究期間中に得られた成果を記す。

5. デジタル化した空中写真について

1) . ヨルダン王立国土地理院とヨルダンにおける空中写真と地形図の整備状況

ヨルダンでは、軍の管理下にある王立ヨルダン地理院 (Royal Jordanian Geographic Centre (RJGC)) で国家機関や研究者などの紹介があれば地形図と空中写真を入手できる。ここで発行する多色刷りの地形図 (図10) は、日本円で約450円、モノクロ空中写真も450円で入手できる。カラー空中写真は約3000円、カラー写真のDirect copy CD-ROM は5250円である (いずれも2005年の価格)。この他にオルソ写真なども扱っている。空中写真撮影用の航空機材や撮影機材はヨルダン国内にあるというが、業務はドイツ等の会社が請け負っているようである。これは、近年撮影された空中写真の標定図に見られる記載からの推測である。なお、全国規模での撮影年次は、1992年 (モノクロ)、2000年 (カラー) で、2011年末に新規の撮影が計画されていた (発行は未確認)。

また刊行されている地形図の種類は、1/5万、1/2.5万 (いずれもアラビア語の多色刷り) である。図10は、メンバーの一人である後藤智哉が作成した地形図の日本語訳注記である。現在入手できる地形図には、これらの他に1950年代に作成された米軍の地形図 (1/5万) や旧ソ連が作成した地形図 (1/5万) が存在する。いずれもアメリカなどの地図販売会社を通じてデジタル化されたものが入手できる。また、一部は大学図書館

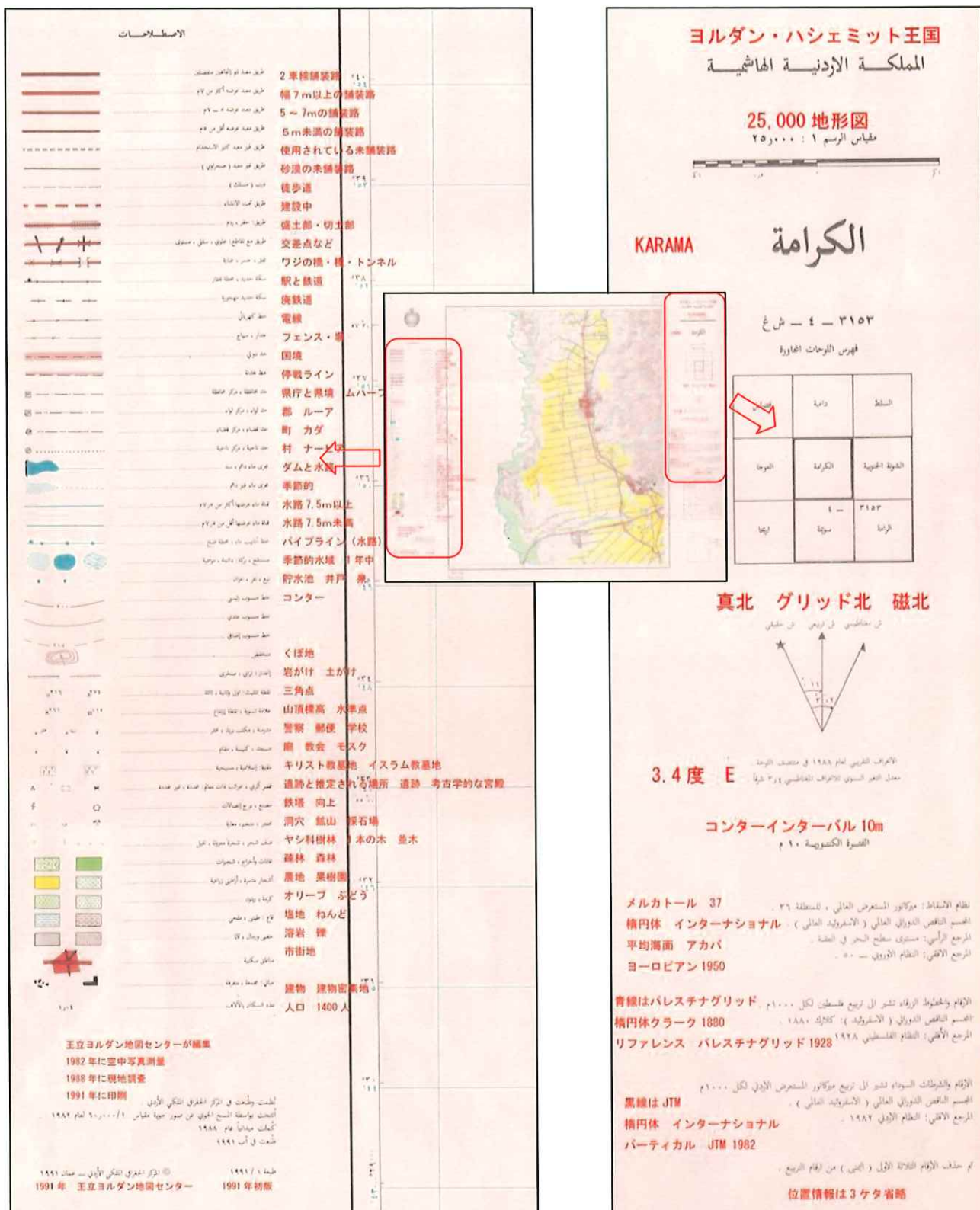


図 10 王立ヨルダン地理院発行の 1/2.5 万地形図と注記の日本語訳 (後藤肇氏による)

や研究者によりWebで公開されておりダウンロードすることも可能である。図11に、米軍による1/5万地形図の一覧を示した。

2) . 標定図からしる空中写真の撮影範囲

ヨルダン天然資源庁に保管されていた空中写真の撮影年次は、大部分が1953年と推定される。空中写真の整理とデジタル化に着手した後に、これらの標定図が作成されていたことがわかった。図12に示した標定図が保管庫から出てきたからである。この標定図は、個々の写真の番号や撮影範囲などが記されたものではなく、コース番号と始点・終点の写真番号が記されただけのものである。写真の保管状況から推測すると、標定図作成後にこれらの空中写真が使用された形跡はない。しかし、標定図の出現で整理とデジタル化は一挙にはかどることになった。

図4と図12を比較すると、1950年代初頭の撮影範囲は居住地域が中心であったと思われる、東部と南部の砂漠地帯は撮影範囲外であった。また、当時はエルサレムを含むヨルダン川西岸地区もヨルダンの領土であったにもかかわらず、この地域は撮影されていない（あるいは、標定図から欠落している）。この理由は不明である。

3) . ヨルダン天然資源庁所有の空中写真の由来とデジタル化済み写真の概要

これまでにデジタル化した空中写真は、総てモノクロ密着焼きの斜め写真と垂直写真である。ごく少数の写真が重複しているが、下記の数値はほぼ撮影シーンの実数と見てよい。ただし、これらの中には欠落している写真があり、図12の総てのコースで写真が揃っているわけではない。例えば標定図の最西端にある1/31というコースは、北から南へ015～095という80枚の写真で構成されることになっている。しかし、実際に存在したのは75～95までの20枚であった。また、標定図に描かれたコース長は、隣接するコースと比較して80枚の範囲としては短すぎる。隣接する2-31コース（南端では2/3/001とあるが、2/31/001の誤記と思われる）は74枚で構成されるが80枚撮影の1/31コースの3倍以上の長さがある。1/31の標定図上の表記である1/31/015 が 1/31/75の誤りであれば、枚

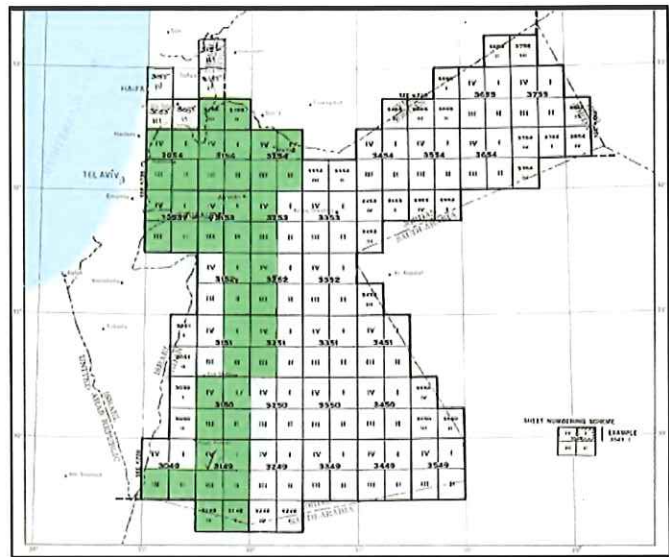


図 11 米軍発行 1/5 万地形図 (AMS) の一覧図

緑色部は下記よりダウンロードできる範囲を示す
http://mapy.mk.cvut.cz/data/Stredni_vychod-Middle_East/Jordan_50k/

数とコース長は合理的な長さになる。この例からも判るように、標定図に記された数字のうち幾つかには誤記があると推定される（図12）。

一般に空中写真には、作業管理・精度管理等のため写真の周囲に各種のデータが書き込まれている。これらの情報から、撮影年（月日）や時刻、撮影地区、縮尺、カメラやレンズの情報などを知ることができる。図13は、デジタル化済みの写真から切り出したこれらの情報の一部である。これにより撮影は1953年7,8,9,11月に少なくとも5種類程度の複数の機材（あるいは異なる記録方法）で撮影されたことわかった。また、この他に標定図の無い1952年撮影の2コース134枚がある（未整理の2000枚程度のもの（後述）がこのシリーズである可能性もある）。

デジタル化した1952、1953年の空中写真は、コース毎に分けたフォルダに保存しフォルダ毎のサムネイル画像を印刷しindexとした。デジタル化した垂直写真は89コース3,468枚、斜め写真は5コース（標定図に記載なし、撮影年不詳）87枚となり、これに1952年の写真134枚を加えると現在までに3,689枚となった。なお、1952年の写真と53年の写真は撮影地域が重複している。

1952年撮影写真	134枚	}	3,689枚	}	5,700枚程度？
1953年撮影写真	3,468枚				
撮影年不詳斜め写真	87枚				
未整理写真撮影年不詳	2,000枚程度？				

ところで、斜め写真のコースは、明らかにヨルダン川を越えてパレスチナ方面まで及んでいる。垂直写真の標定図に斜め写真のコースが記入されていないこと、垂直写真の撮影範囲はヨルダン川東岸に限られるが斜め写真はヨルダン川を越えているという二つの理由で、垂直写真と斜め写真は撮影時期が異なる可能性もある（1952年という可能性もある）。これらの写真の撮影主体がどこであったか記録として残っているわけではない。手がかりになるものとして、いくつかの写真の裏面に押されたかつて英国に存在した航空測量会社のスタンプ（HUNTING AEROSURVEY Ltd）がある。また、「Cooperative Department for Range Resources Development. AMMAN Jordan」のスタンプも読み取れる。

HUNTING AEROSURVEY 社は、2003年に清算され現在は存在しない。Cooperative Department for Range Resources Development という組織も現在は存在しない。空中写真はHUNTING AEROSURVEY社が作成しヨルダンに納品された可能性があるが、詳細は不明である。

1948年のイスラエル建国後は、ヨルダン川西岸地区以外ではヨルダン川以西のコースをとる写真測量は難しかったと予想される。ヨルダンを含むパレスチナ地方は、1918年のオスマン帝国の降伏以降英国によって占領され、ヨルダン川より西側をパレスチナ、東側をトランスヨルダンとし

て委任統治された歴史がある。そのため、当時のパレスチナ地方を対象とした地図類の作成には、測量や空中写真の撮影などで英国が影響力をもっていた。

そこで、英国に当時の資料が保存されていると考え、以下の5機関にて情報を収集した。

- ・ Royal Geographical Society ・ The Palestine Exploration Fund
- ・ Imperial War Museums ・ British Library ・ Royal Air Force Museum

Royal Air Force Museum に斜め空中写真のコピーを持参し質問したところ、学芸員から英国空軍が撮影した空中写真の可能性が高いが、写真内に記載してある文字と数字（図13の最下段のもの）は英国空軍の公式書式ではなく、飛行隊が独自に書き込んだものであろうとの回答を得た。一方、Royal Geographical Society と British Library の地図資料から1931年に空中写真を用いて地形図の作成が行われていたことが判明した。それらの地形図を付録として本報告書の巻末に示した。

1933年発行の地図「AIR SURVEY OF EASTERN APPROACH TO JORDAN VALLEY」（付録に掲載）に記載された情報によれば、これらの1/5万地形図は、英国空軍第14航空隊が撮影した空中写真をもとに英国陸軍省が1931年に写真測量したもので、英国陸軍工兵隊のブラウン少佐の指揮による地上基準点を使用している。そして、陸軍省が1932年に作図し、1933年に英国陸地測量部が写真製版し陸軍省が発行印刷したものであるということである。

以上のように、パレスチナ、トランスヨルダンにおける地形図作成の過程は明らかになったが、ヨルダンン天然資源庁が所有する空中写真に関する詳細は依然として不明のままである。なお、付録3に、空中写真、斜め空中写真の例をあげた。

4) . グーグルアースを使った写真画像のオーバーレイ

デジタル化済みの空中写真に、今後デジタル化する予定のものを加えると5,000～6,000枚程度の空中写真を管理しなければならない。このため、さまざまな管理方法を検討しているが一例として図14を示す。これは、グーグルアースのイメージオーバーレイ機能を使って標定図を作成したものである。グーグルアースの三次元表示機能も利用できる。空中写真の枠部を切り取れば継ぎ目のない一連の画像として表示できる。ただ、アナログ写真をデジタル化しものであるためそのままでは位置情報を持っていないため、オーバーレイは総て手作業で行わなければならない。膨大な時間が必要となるため現在は試作段階である。自動で位置情報を付与する方法を考えれば、写真整理には有利な方法となる。

同様のことは、カシミール、地図太郎といった簡易型のGISに地形図を背景図として表示させ空中写真をオーバーレイさせることで実現できる。背景図を衛星画像にするか地形図とするか、またどのようなソフトウェアが扱いやすいのかなど今後の課題となるがデータベースの整備とあわせて、総ての空中写真をデジタル化するまでには解決したい。

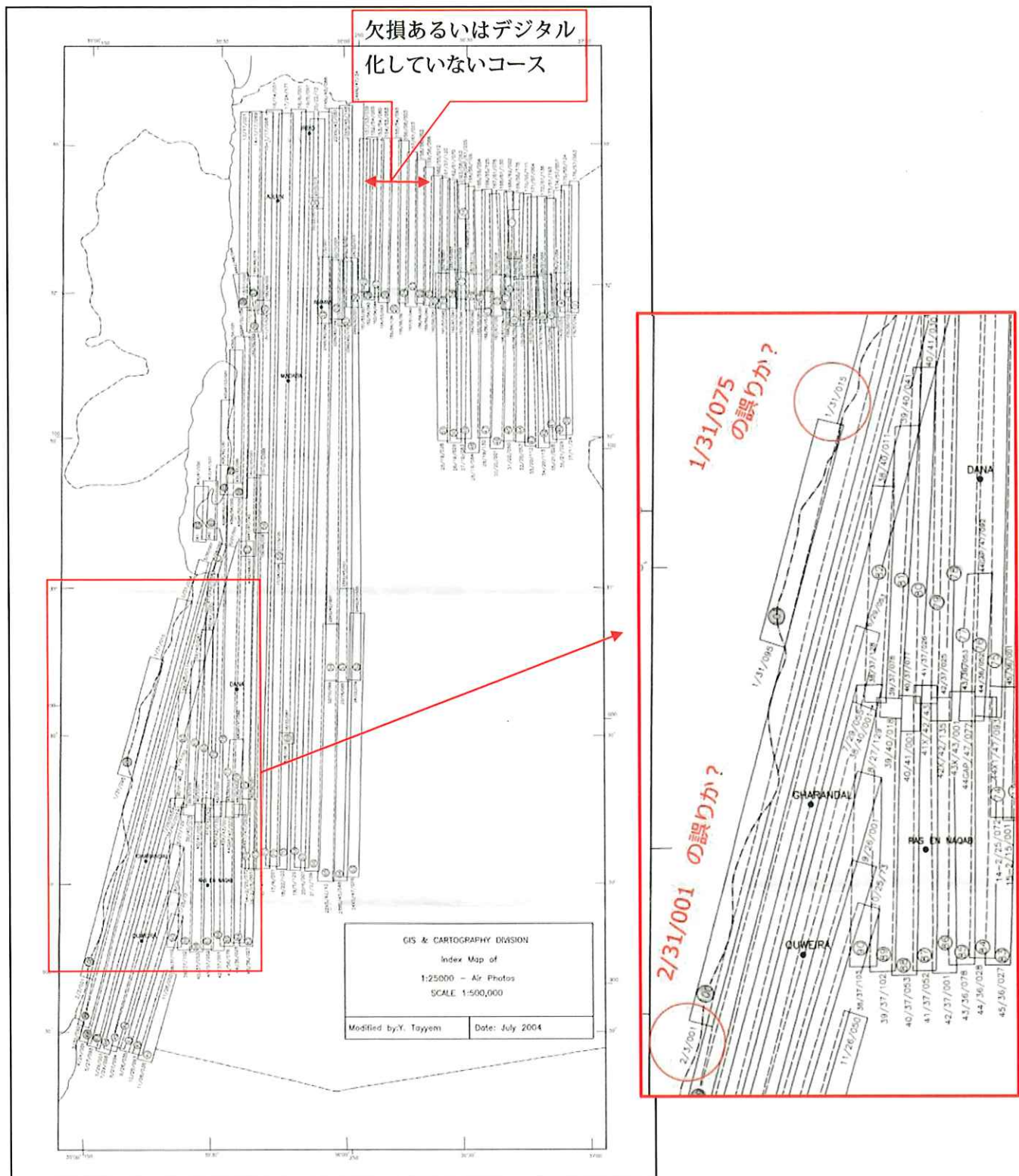


図 12 2004 年に作成された 1953 年撮影写真の標定図と誤記と思われる記載例

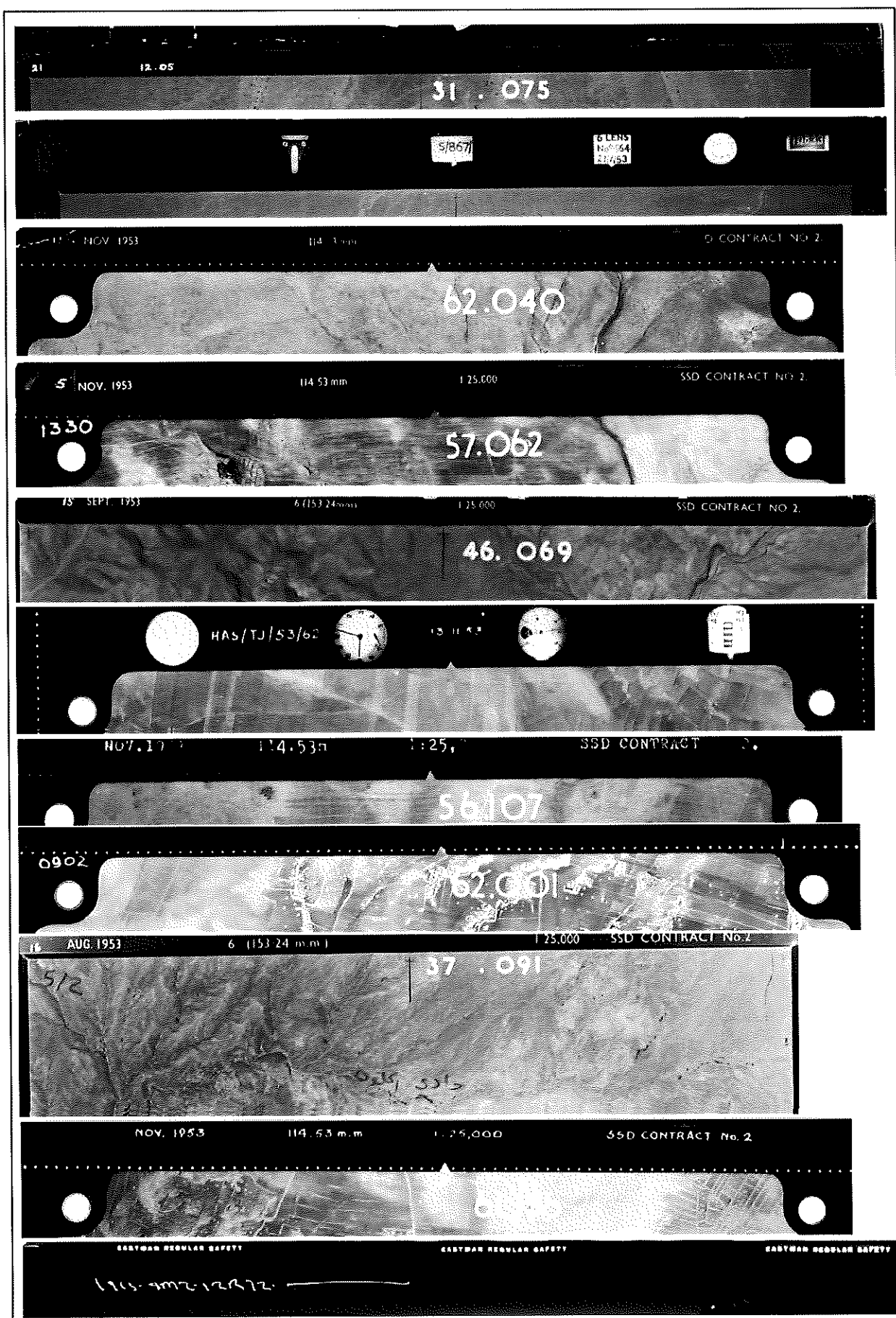


図 13 空中写真に記録された撮影情報

異なる焦点距離のもの2種類、それらとは別に時計の異なるものが2種類、その他に少なくとも1種類、計5種類以上のカメラで撮影されている。最下段は、斜め空中写真に記入された数値。斜め写真にはこれ以外の情報は書き込まれていない。



図 14 グーグルアースを使った標定図作成の試み

この例では、空中写真画像を直接貼り付けてあるが写真の外側に枠が残ってしまう。この部分を自動的に切り出して貼り合わせれば、モザイク画像として使える。今後はその方法も含めて改良する予定である。

6. 変動地形分類図の作成と変動地形調査

先に述べたように、本研究の目的の一つは、保存修復した空中写真を活用して、死海トランスフォーム断層に接するヨルダン全域の変動地形を空中写真判読により抽出し、この地域で初の高質で均質的な活断層資料を作成することある。2012年度までに、ヨルダン溪谷北部の活断層資料を整備し、現地調査を実施した。また、4つのトレンチを掘削し出現した活断層を使って活動履歴の調査を実施した。本章ではその概要を示す。

この調査は、2008年2月、国土館大学イラク古代文化研究所の要請で手がけたUmm Qais(Gadara)遺跡調査が発端となり、Gadara壊滅の原因とされる大地震の震源特定を当面の目的にして始めたものである。2008年2-3月、7-8月の概査・資料収集調査を経て、2009年度からは3ヶ年間、対象をいわゆる死海低地帯を縦断するヨルダン・ヴァレー断層帯(JVF) にしぼり、調査を本格化させた。2012年度には、本研究助成金をもとに調査を継続し対象を広げて新たな展開を試みた。

これまでに、ヨルダン溪谷北部の空中写真判読を行い、JVFの断層線とそれが形成した変位地形の性状を把握して図化した。図15はその成果の一部である。写真判読には、1950年代初頭に英国空軍が撮影したとみられる空中写真を使用した。2009年度からは、JVFの、ヨルダン領内に位置する長さ約50km区間のほぼすべてを踏査、地形地質に関する野外調査を行うとともに、2010、2011年度にはその活動履歴資料を得る目的でトレンチ調査を実施した。

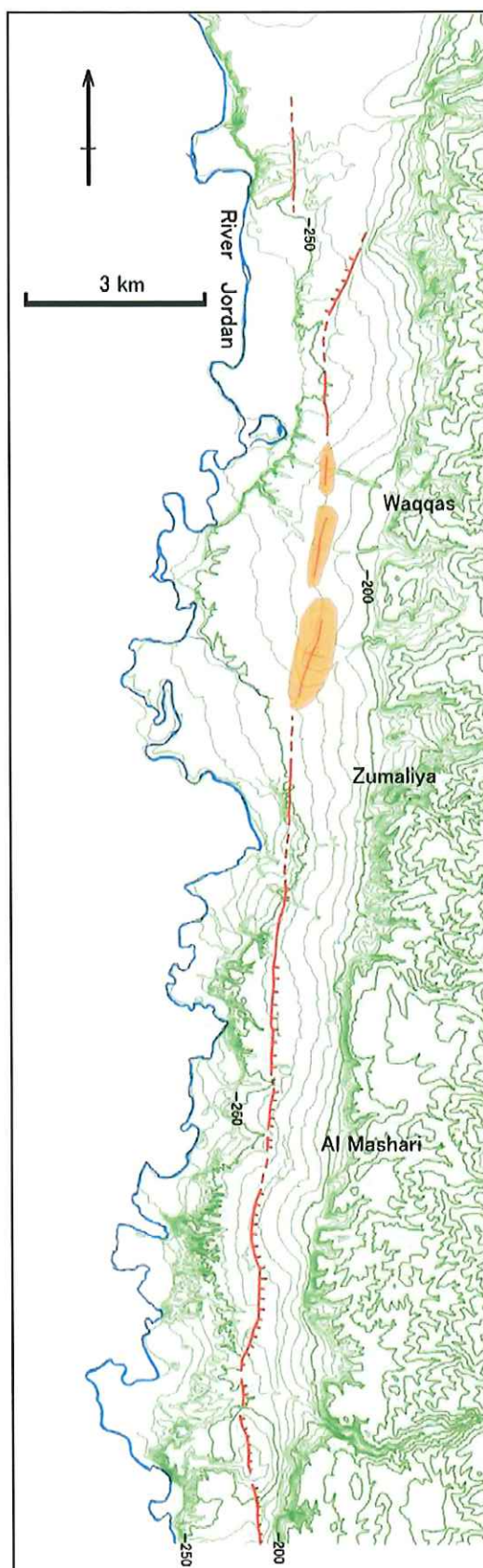


図 15 ヨルダン溪谷北部の JVf の断層線

2

1

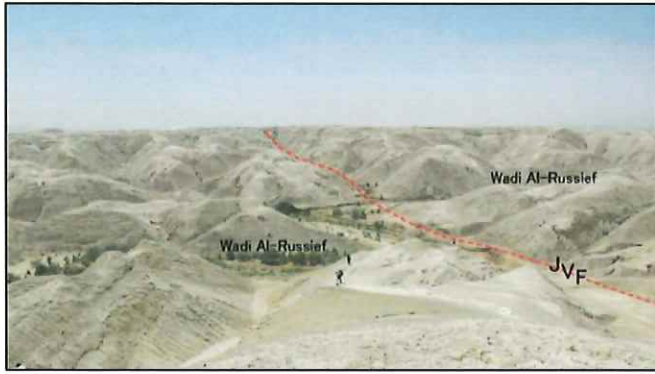


図 16 JVF に沿う左横ずれ変位地形の例

Wadi Al-Russief (写真中央の植生のある部分に沿って左から右へ (西へ) 流れる) の左ずれ屈曲は 150-160m に達している

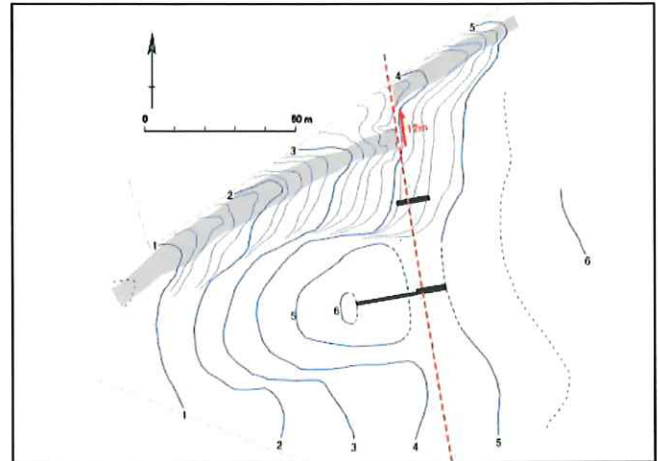


図 17 Shaikh Husain 地区の詳細地形図

網掛け部が左横ずれを示すワジの流路、黒い矩形がトレンチ掘削地点

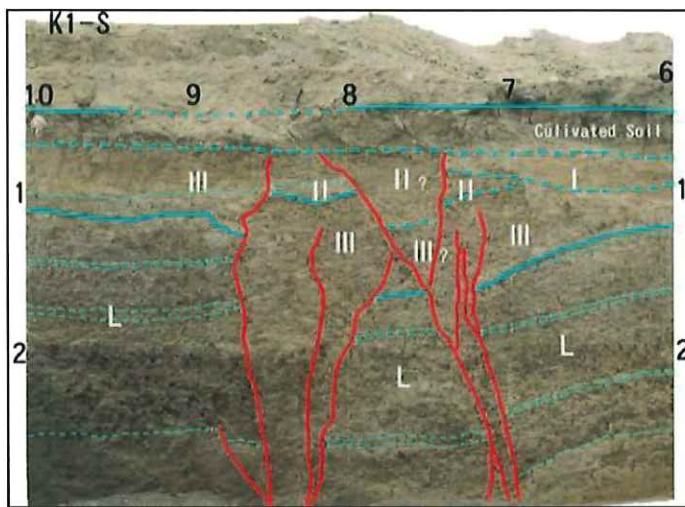


図 18 Karamah 地区のトレンチ壁面に露出した JVF

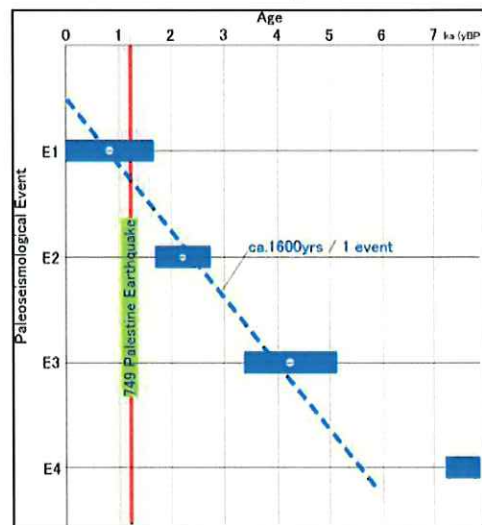


図 19 JVF の活動時期

千数百年に一度の割合で活動を繰り返し、ここ千数百年以内に最新活動があったことを示している

図16は、JVFに沿ってはしばしば認められる左横ずれ変位地形の例である。このWadi Al-Russiefの左ずれ屈曲は、150-160mに達しており、最終氷期に発達した多雨湖(Lisan lake)の離水面を刻む河谷としては最大級である。この事実、JVFの平均変位速度が6-8 m/1000yrsに達していることを示している。現地では、微小変位地形の性状および若い変位基準の食い違い量を正確に把握するため、トータルステーションによる測量を試みている。

図17は、2010年5月にトレンチ調査を実施したShaikh Husain地区の詳細地形図で、このような高精度の測量結果をもとに作成した。図17からごく若いワジの流路がJVFで切断され、約12m左ずれ変位していることが分かる。JVFの最新活動で生じた可能性が高い。

図18は2012年にKaramah地区において試みたK1トレンチの壁面に露出したJVFである。この図から、JVFは最近において活動を繰り返していること、その断層面は耕作土層の直

下に達していることが分かる。図19は、2010年のトレンチ調査成果で、JVFはおおよそ千数百年に一度の割で活動を繰り返し、ここ千数百年以内に最新活動があったことを示している。この結果は、749年パレスティナ大地震をJVFの最新活動とする見方(Marco et al.,2003など)と齟齬しない。

7. まとめ

本研究ではまず、1950年代初期に撮影されその後放置されていたヨルダン溪谷を中心とする地域の空中写真を整理、デジタル化保存、修復作業を行った。その数は今のところ3,689枚程度である。未整理の写真を含めると5,000枚以上の写真が存在すると思われる。この写真を使って地形、植生景観を復元するいっぽう、死海トランスフォーム断層に接するヨルダン全域の変動地形を空中写真判読により抽出し、この地域で初の高質で均質的な活断層資料を作成することを目的とした。

研究期間終了までに、上に掲げた目的のうち植生景観等の復元はほとんど着手できなかった。写真の処理と整理に作業時間の大半を縛られることになったためである。いっぽうヨルダン全域の変動地形に関する研究では、死海北部地域の判読と踏査を終えまた4つのトレンチ調査を実施した（調査期間中の実施は2トレンチ）。トレンチ壁面の観察、年代試料の分析からヨルダン・ヴァレー断層帯(JVF)の活動は千数百年に一度の割で活動を繰



図 20 ヨルダン溪谷カラマダム周辺の60年間の変化

り返し、ここ千数百年以内に最新活動があったことなどが判明した。

過去60年間にわたる景観変化、土地利用変化は現在の空中写真や衛星画像と比較することによってわかる。図20は、このようにして比較した60年間の変化である。今後は収集した写真を使って、このような作業を行うとともにリモートセンシングの手法を使った分類を試みる予定である。

8. 文献

- Basem K.Moh'd (2000) : The Geology Of Irbid and Ash Shuna Ash Shamaliyya Map Sheets. Natural Resources Authority Geology Directorate, Jordan. 67p.
- Carlos E. Cordova (2007) : Millennial Landscape Change in Jordan: Geoarchaeology and Cultural Ecology, University of Arizona Press, 272p.
- Damien Closson and Najib Abou Karaki (2009) : Sait Karst and Tectonics:Sinkholes Development Along Tension Cracks Between Parallel Strike-slip Faults, Dead Sea,Jordan.Earth Surface Processes and Landforms,34,pp.1408-1421.
- Didi Kaplan, Avri Kadmon (1999) : Ecodiversity Changes in the Hula valley , Israel During this Century, PROCEEDING OF IALE INTERNATIONAL CONFERENCE LANDSCAPE ECOLOGY-Theo-ry,Teaching, Applications, Pultusk, Poland. pp.123-130.
- D.L.Kennedy(2004) : The Roman Army in Jordan,Council for British Archaeology(GB); 2nd Revised edition,235p.
- E. J. Van Der Steen (2003) : Tribes And Territories In Transition: The Central EastJordan Valley In The Late Bronze Age And Early Iron Ages: A Study Of The Sources (Orientalia Lovaniensia Analecta), Peeters Bvba. 332p.
- S. Marco, M. Hartal, N. Hazan, L. Lev, M. Stein (2003) : Archaeology, history, and geology of the A.D. 749 earthquake, Dead Sea transform, *Geology*, 31, pp. 665-668,
- 金子史朗 (1997) :「ソドムとゴモラの滅んだ日 旧約聖書の謎」、中公文庫、378p.
- 杉本智俊 (2008) :『図説 聖書考古学 旧約編』、河出書房新社、115p.
- 長谷川均 (2009) :ヨルダン溪谷北部ウム・カイス遺跡周辺の自然環境:文化遺産学研究,No.1,7-18.

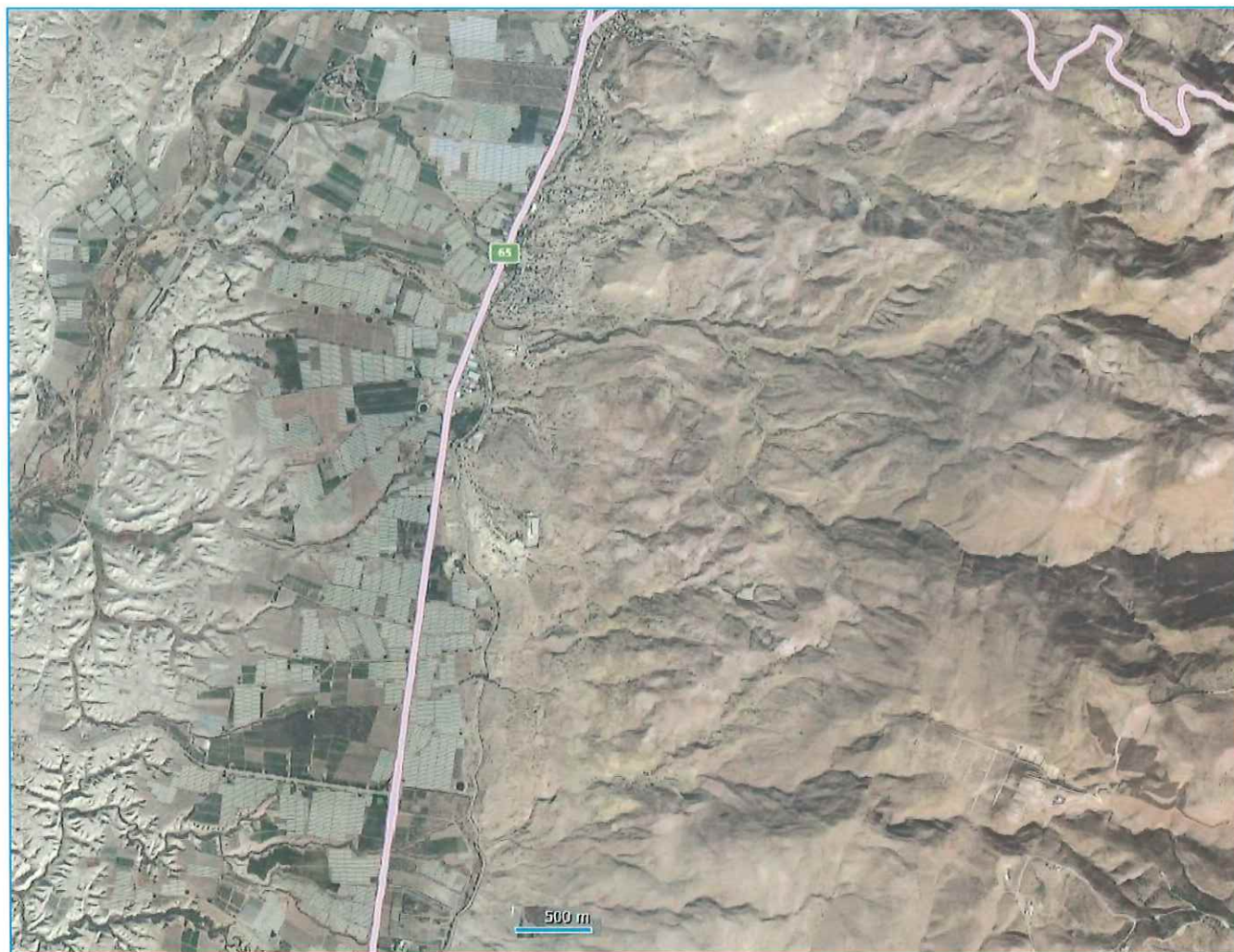
付録

(1) 1953年に撮影された空中写真の例 (37-17-026)

北西端に見えるのは、ヨルダン側に合流するザルカ川



(2) 1953年に撮影された空中写真(1)と同範囲の現在の衛星画像(BeingMapによる)



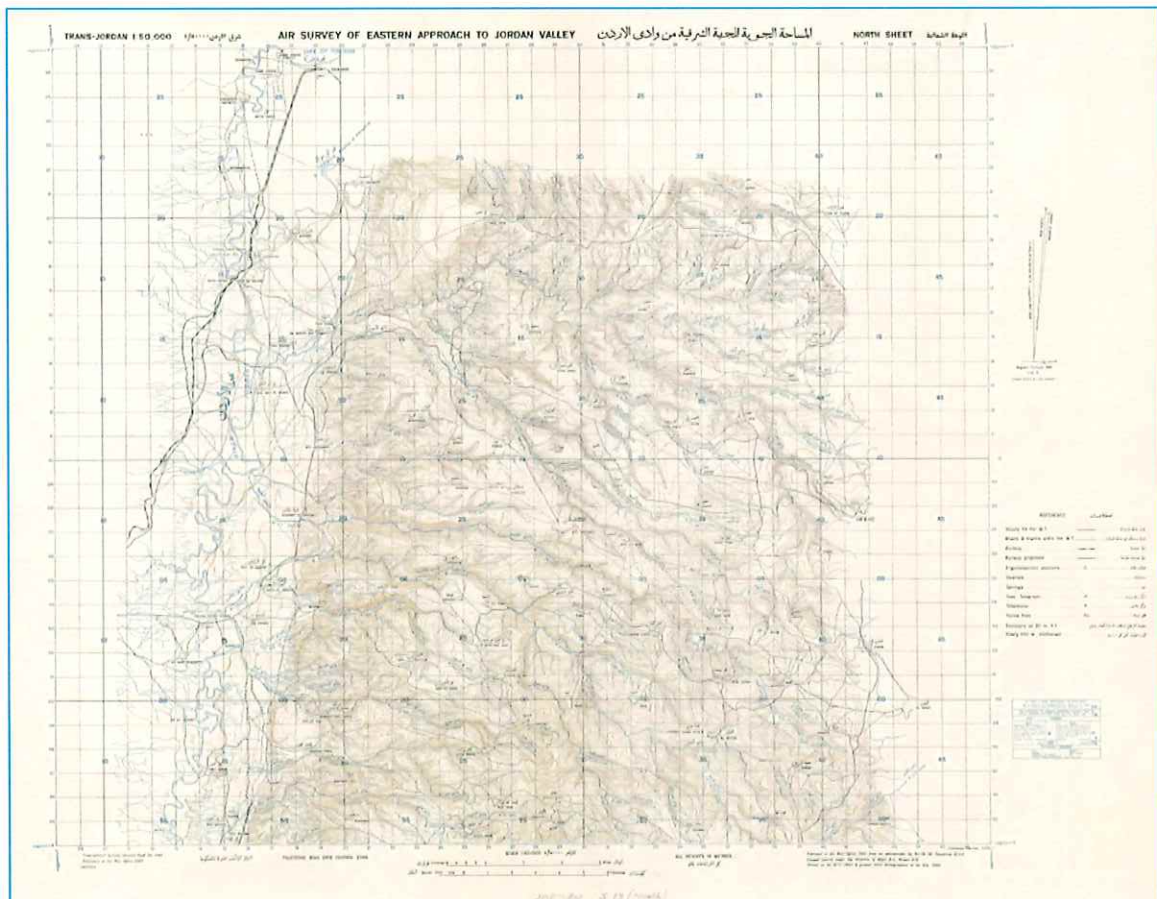
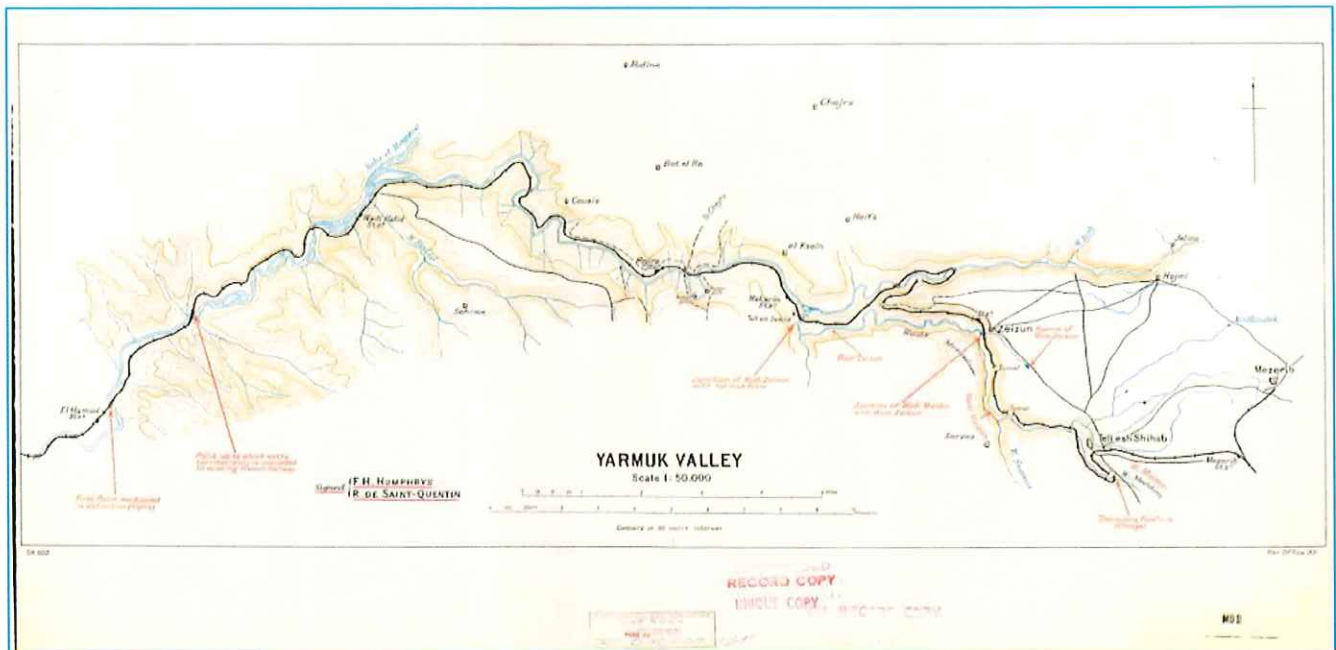
(3) 撮影年不詳斜め空中写真の例

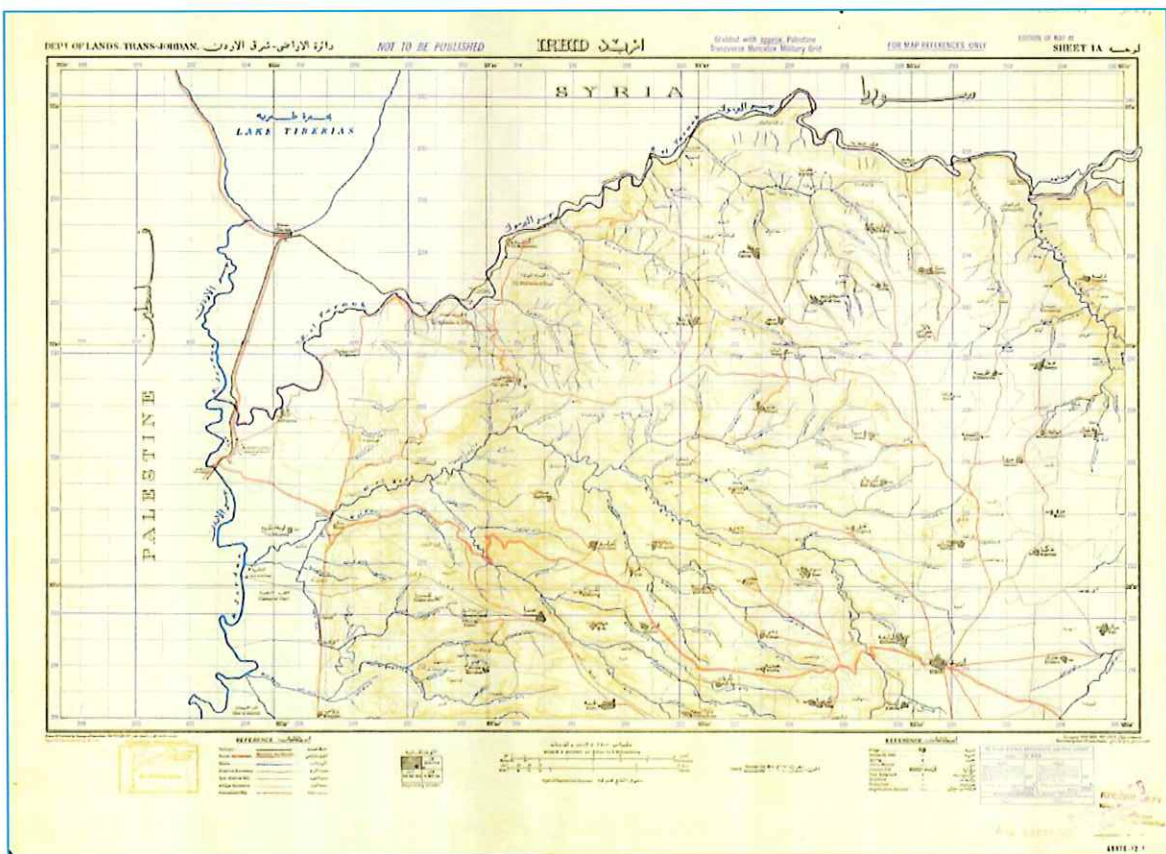
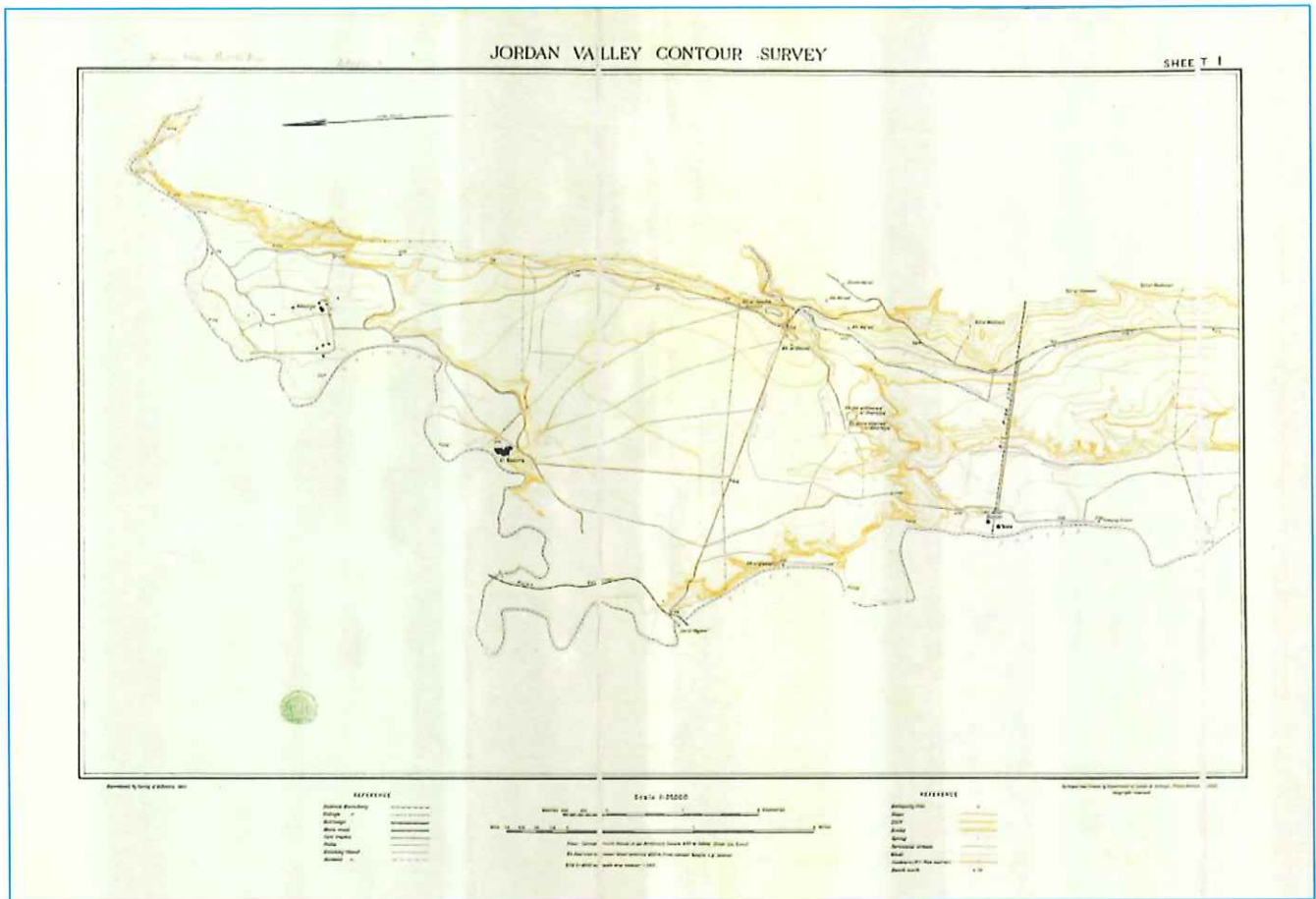
ヨルダン高地から低地に向かい東から西に向かって飛行している。写真上部に見えるのはガリラヤ湖である。

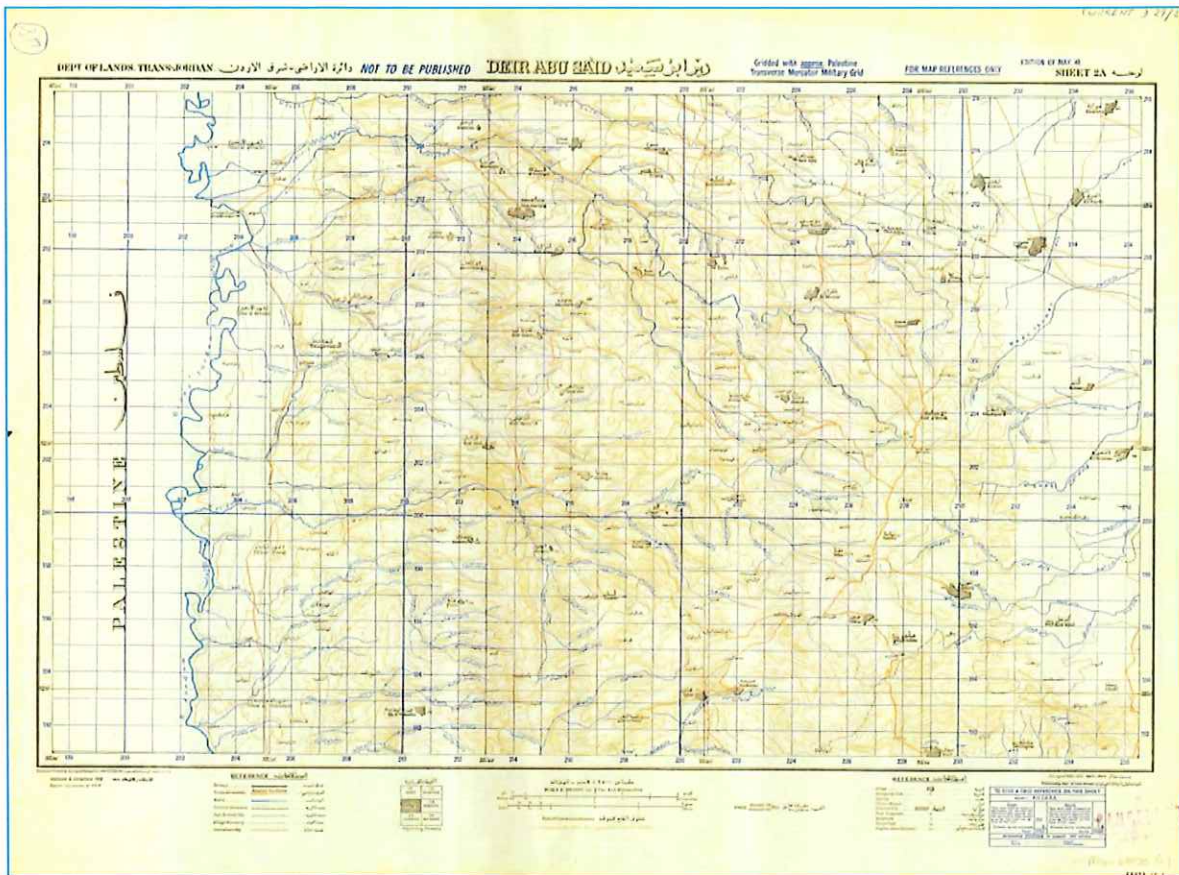


(4) 1930～1940年代に英国軍によって空中写真をもとに作成された
ヨルダン溪谷と周辺の地形図（以下、表に示した順に地形図を示す）

図名	縮尺	発行所	発行年
YARMAK VALLEY	1:50,000	War Office, UK	1931
AIR SURVEY OF EASTERN APPROACH TO JORDAN VALLEY	1:50,000	War Office, UK	1933
JORDAN VALLEY CONTOUR SURVEY	1:25,000	Department of Lands & Survey, Trans-Jordan	1940
IRBID	1:50,000	Department of Lands, Trans-Jordan	1941
DEIR ABU SAID	1:50,000	Department of Lands, Trans-Jordan	1941







ヨルダン・ハシェミット王国における変動地形調査

東郷正美(法政大社会)・長谷川 均(国土館大文)・石山達也(東京大地震研)

岡田真介(東北大災害科学国際研)・後藤智哉(国土館大イラク古代文化研)

牛木久雄(元JICAヨルダン事務所)

ヨルダンにおいて2008年から始めた変動地形調査の目的と今日に至る経過および主な成果について報告する。この調査は、2008年2月、国土館大学イラク古代文化研究所の要請で手がけたUmm Qais(Gadara)遺跡調査が発端となり、Gadara破壊の因とされる大地震の震源特定を当面の目的にして始めたものである。2008年2-3月、7-8月の概査・資料収集調査を経て、2009年度からは3ヶ年間、対象をいわゆる死海低地帯を縦断するヨルダン・ヴァレー断層帯(JVF)にしぼり、国の科研費(東郷21501007)を得て調査を本格化させた。2012年度には、国土地理協会の研究助成金をもって調査を継続し、対象を広げて新たな展開を試みた。

初期の2008年時点で、ヨルダン・ヴァレー全域の空中写真判読を行い、JVFの断層線とそれが形成した変位地形の性状を把握して図化した。以下の①はその成果の一部である。②は写真判読で有用な役割を果たした、英軍が1950年代に撮影した空中写真の見本である。2009年度からは、JVFの、ヨルダン領内に位置する長さ約50km区

間のほぼすべてを踏査、地形地質に関する野外調査を行うとともに、2010、2011年度にはその活動履歴資料を得る目的でトレンチ調査をも実施した。

③は、JVFに沿ってはしばしば認められる左横ずれ変位地形の例である。このWadi Al-Russiefの左ずれ屈曲は、150-160mに達しており、最終氷期に発達した多雨湖(Lisan lake)の離水面を刻む河谷としては最大級である。この事実は、JVFの平均変位速度が6-8m/1000yrsに達していることを示している。現地では、微小変位地形の性状および若い変位基準の食い違い量を正確に把握するため、トータルステーションによる測量(④)を試みている。⑤は、2010年5月にトレンチ調査を実施したShaikh Husain地区の詳細地形図で、このような高精度の測量結果をもとに作成した。⑤からごく若いワジの流路がJVFで切断され、約12m左ずれ変位していることが分かる。JVFの最新活動で生じた可能性が高い。

⑥は2012年にKaramah地区において試みたK1トレンチの掘削風景であり、その壁面に

露出したJVFの様子が⑦である。⑦から、JVFは最近において活動を繰り返していること、その断層面は耕作土層の直下に達していることが分かる。⑧は、2010年のトレンチ調査成果で、JVFはおおよそ千数百年に一度の割合で活動を繰り返し、ここ千数百年以内に最新活動があったことを示している。この結果は、749年パレスティナ大地震をJVFの最新活動とする見方(Marco *et al.*, 2003など)と齟齬しない。

