

Title	イスラエル・ ガリラヤ湖岸の地形および水文環境
Sub Title	Landforms along the shore and water level changes of the Sea of Galilee in Israel
Author	松原, 彰子(Matsubara, Akiko) 渡部, 展也(Watanabe, Nobuya)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2010
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 社会科学 (The Hiyoshi review of the social sciences). No.21 (2010.) ,p.43- 62
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10425830-20110331-0043

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

イスラエル・ガリラヤ湖岸の地形および水文環境

松 原 彰 子
渡 部 展 也

1. はじめに

イスラエル北部に位置するガリラヤ湖周辺は、新石器時代以降、人間活動の場となってきた。湖岸では、複数の遺跡の分布が確認されているが、東岸のテル・ハダール、テル・エンゲヴ、北西岸のテル・キノロットなどの港湾都市は、水上交通の要衝として重要な役割を果たしてきたと考えられている（コハビ、2000など）。「テル」とは、人工的に土を盛って作られた遺跡丘のことを指す。ガリラヤ湖岸に分布する遺跡の中で、テル・エンゲヴは1887年に発見された遺跡であるが、本格的な発掘調査は、日本の調査隊の手で1990年以降、継続的に行われている（月本ほか編、2009）。なお、本稿では、テル・エンゲヴをエン・ゲヴ遺跡と呼ぶことにする。

本研究では、慶應義塾大学文学部考古学専攻 杉本研究室が2009年度から行っているエン・ゲヴ遺跡発掘調査の中で、2010年度に実施したガリラヤ湖岸の地形・水文調査、およびエン・ゲヴ遺跡とその周辺の微地形復元の成果をまとめる。

2. ガリラヤ湖東部と南部の湖岸および湖底地形

（1）ガリラヤ湖東部の地形

ガリラヤ湖東部には、ゴラン高原から流れ出す複数の河川（一部はワジ）が分布し、それぞれ湖に流入している。ガリラヤ湖東岸のほぼ中央部に位置するエン・ゲヴ遺跡の北側では、ゴラン高原の玄武岩質溶岩からの湧水を起源とするエン・ゲヴ川がガリラヤ湖に注ぎ込んでいる。ただし、乾季には河口部はワジとなる。また、河口付近には石灰岩・玄武岩の砂礫の堆積によって湖岸低地が発達している（松原・渡部、2010）。

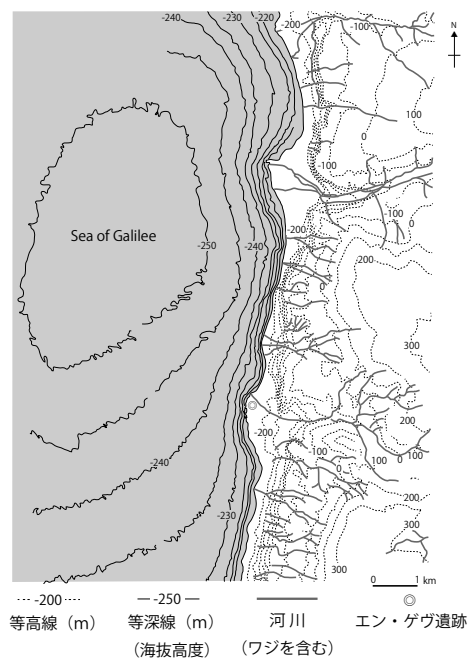


図1 ガリラヤ湖東部の湖岸および湖底地形

陸上の等高線はSurvey of Israel (1999)、湖底の等深線（海拔高度）は Geological Survey of Israel (1990) に基づく。

一方、ガリラヤ湖東部の湖底地形を見ると、北部や南部に比べて急峻な湖底斜面が分布し、湖底段丘に相当する平坦部は認められない（図1）。こうした特徴は、ガリラヤ湖西部についてもあてはまる。このことは、本地域がヨルダン川地溝帯に位置し、ガリラヤ湖の東岸と西岸には、それぞれ湖側が下降する南北方向の活断層が分布していることと関連づけられる。

（2）ガリラヤ湖南部の地形

ガリラヤ湖南部の湖底地形は東部や西部に比べて緩傾斜であり、湖岸にはガリラヤ湖から流出するヨルダン川に沿って低地が広がる（図2）。

ヨルダン川がガリラヤ湖から流出する場所は、過去1,000年ほどの間に東に約1.5 km 移動しているが、少なくとも14世紀までは古い流出口と新しい流出口の2ヶ所から湖水が流出しており、これらは500mほど南の地点で合流していたと推定される（Nun,

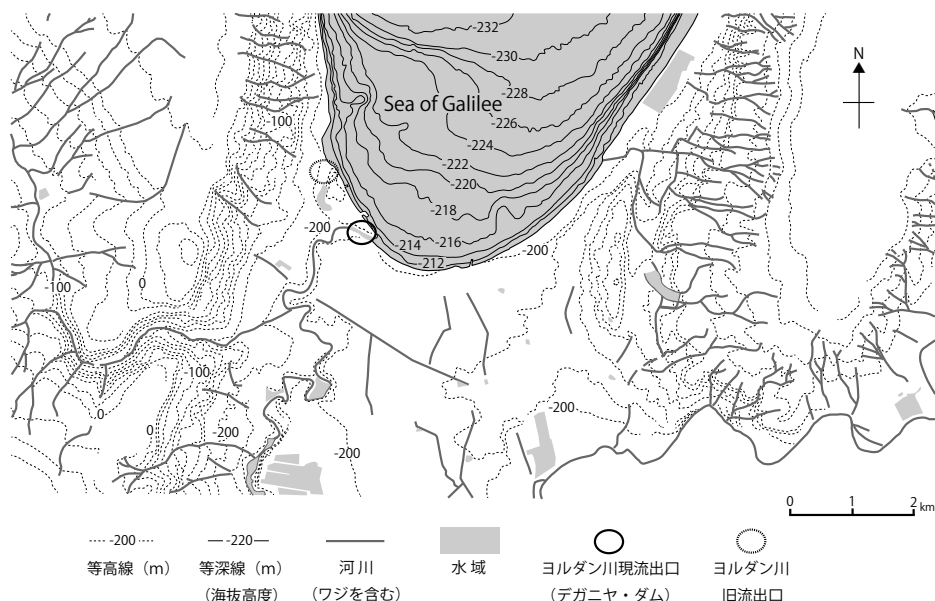


図2 ガリラヤ湖南部の湖岸および湖底地形

陸上の等高線はSurvey of Israel (1999)、湖底の等深線（海拔高度）はGeological Survey of Israel (1990) に基づく。

1991)。現在、旧河床はヤシ園と養殖池に姿を変えているが、旧河道は、5万分の1の地形図からも明瞭に読み取ることができる（図2）。

3. ガリラヤ湖の水位変動

（1）歴史的に見た水位変動の復元

ガリラヤ湖に注ぎ込む河川（主体はヨルダン川）からの流入量は、雨季である冬に増加し、春には湖水面が最高位に達する。これに対して、乾季である夏から秋には一部の河川の下流部はワジとなり、湖水位は低下する。

ヨルダン川は湖の北端部で流入し、その河口部には湿地帯を含む三角州が発達している。一方、湖水の流出口は湖の南端部にあり、ここから流出したヨルダン川は南下して死海に至る。

Nun (1991) は、古代から現在までのガリラヤ湖の水位変動について、以下のよう

に整理している。

① 自然状態におけるガリラヤ湖の水量の季節変動

1日あたりの湖への平均流入量は $1.73 \times 10^6 \text{ m}^3$ であり、これは1cmの水位上昇に相当する。雨が多い冬季には、湖への流入量が $130 \text{ m}^3/\text{s}$ であるのに対して流出量は $30 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の水量増加が起こる。これは、1日あたり5cmの水位上昇に相当する量である。湖面からの蒸発量は年間 $300 \times 10^6 \text{ m}^3$ で、これは1.8mの水位低下に相当する。夏季には湖面からの蒸発量が増加し、蒸発分だけで1日あたり1cmの水位低下が起こる。この量は、湖南端からヨルダン川を通じて $20 \text{ m}^3/\text{s}$ の水が流出するのと同じ影響を持つ。

このように、ガリラヤ湖の水位は、流入量、流出量、蒸発量の間の関係で決まっていたといえる。

② 古代（3C BC～7C AD）の湖水位に関する考古学的証拠

ガリラヤ湖岸に栄えていた港湾都市の発掘調査の結果、湖岸の遊歩道の海拔高度が-209.25mであること（現在のものは-208.30m）、湖東岸の港に隣接して作られた生簀の底の海拔高度が-209.25mであることなどから、当時の湖の最高水位が-209.5mを超えることはなかったと推定される。

一方、湖の西岸に位置する都市ティベリアでは、ローマ時代に湖岸に築かれた城壁の基部の海拔高度が、現在の湖底の-212.30mまで確認されている。城壁が歩兵の侵入を防ぐために設計されていたとすると、人の身長（1.65m）を考慮して、当時の湖の最低水位は約-210.5mであったと考えられる。同様に、湖東岸の都市スシータの港（エン・ゲヴ遺跡の南方）においても、当時の防波堤の基礎部分の海拔高度が-211.25mであることが確認された。この結果も、湖の最低水位が-210.5m付近にあったことを示す証拠といえる。

以上のことから、当時の湖水位は最高で-209.5m、最低で-210.5mと、1mの季節変動が存在していたと推定される。

（2）過去70年間の水位変動

図3は、1926年から2003年までのガリラヤ湖の水位変動曲線である。これによれば、この間の平均湖水位は-210.4mである。また、湖水位には季節変動が見られるが、5月と11月の水位の差は1～2mである。

イスラエル・ガリラヤ湖岸の地形および水文環境

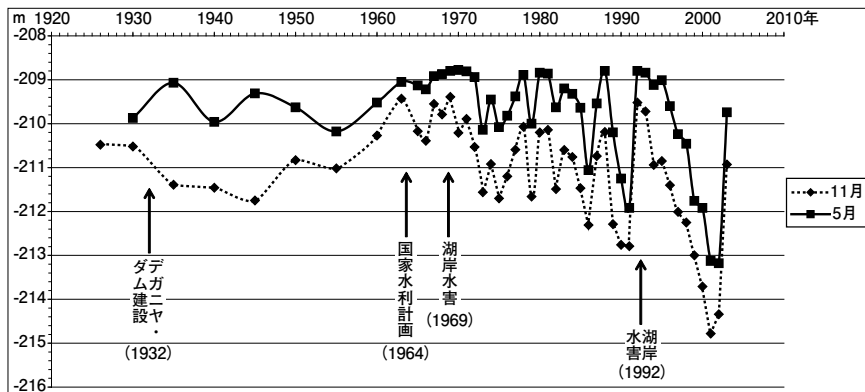


図3 1926～2003年におけるガリラヤ湖の水位変動
The Hydrological Service of Israel (2009) に基づいて作成。

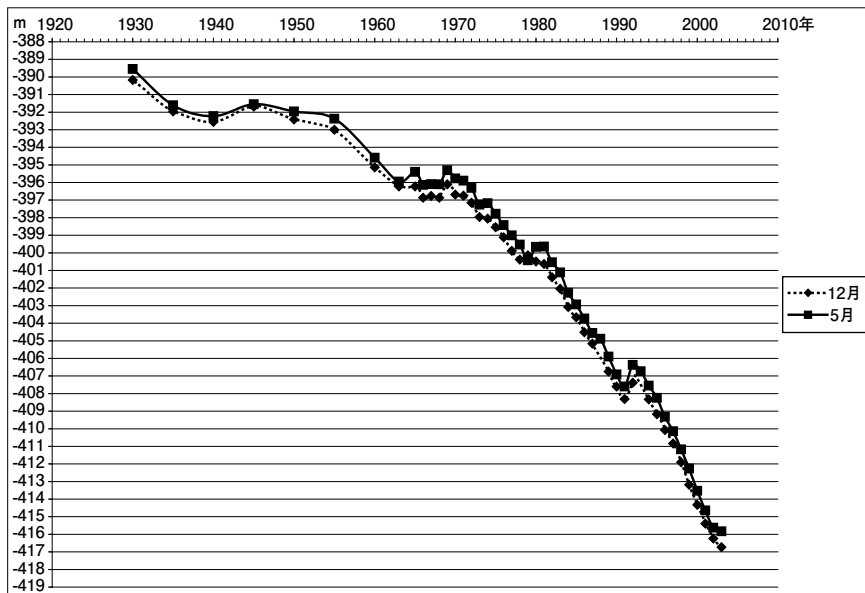


図4 1930～2003年における死海の水位変動
The Hydrological Service of Israel (2009) に基づいて作成。

1932年に湖の南岸にデガニヤ・ダムが建設されて以降、湖水位は人工的に調整されるようになった。デガニヤ・ダムは、ガリラヤ湖南端部のヨルダン川流出口にある水門施設で、ガリラヤ湖を貯水池として有効利用する目的で建設された（図2）。

その後、1964年には国家水利計画（The National Water Carrier）によって、ガリラ

ヤ湖の水を周辺の都市および南部の乾燥地域に供給する目的で、湖の北西岸に取水施設がつくられた。ここからは最大 $72,000\text{m}^3$ ／時の水が供給されており、この計画以降、デガニヤ・ダムの水門は1年を通じてほとんど閉じた状態になった。また、1967年には、湖の計画水位の上限が10cm引き上げられた(Nun, 1991)。ガリラヤ湖からヨルダン川を通して流出する水量が減った結果、ヨルダン川地溝帯の中部に位置する死海に流入する水量も減少した。死海周辺は乾燥地域であり、湖面からの蒸発量が特に多い。図4は、1930年から2003年までの死海の水位変動曲線である。これによれば、死海では、過去70年間で約30mの水位低下が起きていることがわかる。

このように、現在のガリラヤ湖の水位変動は自然状態のものではないが、湖への流入量はヨルダン川流域の降水量に影響される。1968～1969年の冬季は流域の降水量が多かったことから、大量の水がガリラヤ湖に流入した。これに対応してデガニヤ・ダムの水門が開けられ最大水量の湖水が放出されたが、流出口からの排水能力の限界から湖水位は計画水位を70cmも上回るレベルにまで達した。これによって、1969年の春にはエン・ゲヴをはじめガリラヤ湖岸の各地で水害が発生した(Nun, 1991)。また、同様の水害は1992年にも発生している(Jordan Ministry of Water and Irrigation et al., 1998)(図3)。

4. エン・ゲヴ遺跡周辺の微地形復元

(1) 地形図・空中写真判読による復元

松原・渡部(2010)では、5万分の1地形図およびCORONA衛星画像の判読から、エン・ゲヴ川下流地域に複数の谷地形が存在することを明らかにした。本研究では、エン・ゲヴにキブツが建設され始めた時期の1944～1945年にRAF(Royal Air Force) of Britishによって撮影された空中写真を用いて実体視を行い、近年の改変が行われる以前の微地形を復元した(図5)。

その結果、エン・ゲヴ遺跡周辺に複数の旧河道が分布していることが確認された。中でも、エン・ゲヴ遺跡のすぐ北側で現在道路になっている場所の谷地形が最も明瞭である。空中写真が撮影された当時は、まだ道路はないが、その後、谷を埋め立てて道路が建設されたものと考えられる。このほか、エン・ゲヴ遺跡の南側にも複数の旧河道が認められた。

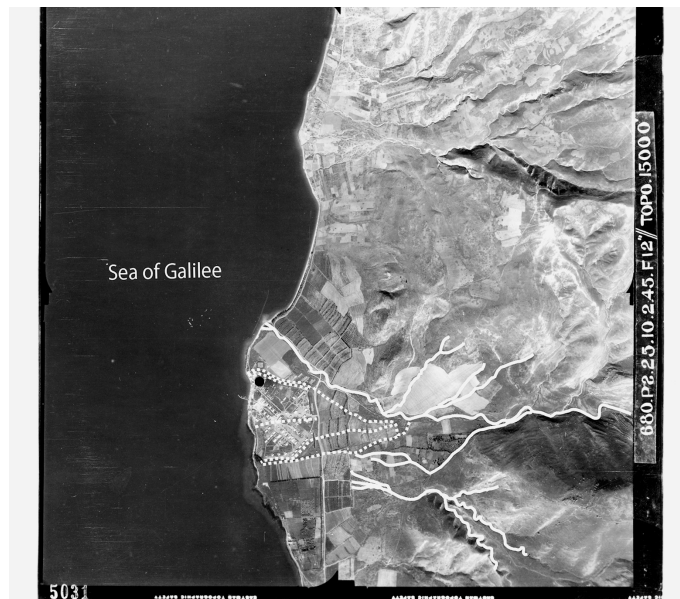


図5 エン・ゲヴ遺跡周辺における旧河道の復元

白の実線は現河道（ワジを含む）、破線は旧河道、●はエン・ゲヴ遺跡の位置を示す。
空中写真は、RAF（Royal Air Force）of British によって1944～1945年に撮影されたものである。

（２）地形計測による微地形復元の概要

前年（2009年）の調査（松原・渡部，2010）では、トータルステーションをもちいてテル部分の図化を行い、今回の調査では計測範囲を拡大し、遺跡を中心としたキブツ北側の大縮尺地形図を作成した。なお、地形図は調査における最も基本的なデータのひとつであり、遺跡周辺の旧地形をより詳しく把握するための情報としても重要である。（１）でも検討したように、旧河道や起伏などの微地形の把握には空中写真が有効であるが、加えてこのような詳細な地形の計測結果や大縮尺の地形図もまた効果的である。

今回は計測範囲が拡大したこと、そして高密度に地形を計測する必要性があったことから、前年度の調査で導入を検討した簡易レーザー計測器を用いることとした。さらには、現地における作業を省力化するために、計測の自動化を試みた。特に海外調査という日数・人員の制約がある状況下において計測の効率化は重要であり、今回の計測手法開発の目標のひとつでもある。

このような計測作業を効率化する既存の計測システムとして、いわゆる3Dレーザースキャナーと呼ばれる一群の製品が存在する。これらは数分からの時間で対象の形状を高密度の3次元の点群として計測する機器であり、遺跡計測でも導入され成果を挙げている。しかし、ほとんどが1000万円を超える価格帯の製品であり、誰もが気軽に使えるという状況には無いのが現状である。本稿では、より低コストで汎用性の高い計測方法の確立も視野に入れて開発・計測を行った。事前に日本国内で計測のテストを行っているが、実践での活用は初めてであり、また夏季のイスラエルという過酷な環境下での実施ということで、この方法の実用性の検討も兼ねた計測となった。

(3) 計測の方法

今回も前稿の方法と同様、地表を覆うように点群を計測し、これらをGISソフトウェアで処理をすることで、面的な地形データを生成する方法をとることとした。ただし、前年の調査ではトータルステーションを用いたのに対し、今回の計測の基本となる機材はLaser Technology社のImpulse200とMapstarである。なお、この両機材は相互に接続することで、一人でも計測作業が可能な簡易計測システムとして活用する



図6 ImpulseとMapstarによる簡易計測システム

ことも可能である（図6）。早川・津村（2008）は、これらの計測機器とGPSを統合したシステムを用いて2名を単位としてトルコの遺跡測量を行い、良好な結果が得られたことを報告している。エン・ゲヴ遺跡においても、このシステムを使用することで効率的な地形計測が可能であることが期待された。しかし、今回は範囲が比較的大きいことや、計測の効率化を図る目的もあることから、そのままのシステムではなく、計測の自動化を可能とする形で用いることとした。

（4）機材・システムの概要と開発

Impulse200は、反射プリズムを必要としないノンプリズム型のレーザー計測器で、距離の計測ができるほか、内蔵している角度センサーによって計測点に対する傾斜角度を同時に計測できる。カタログ値によれば有効射程距離は250m（誤差は3-5cm）、最小計測角度は0.1度となっている。ただし、今回の調査地であるキブツでは芝生が植えられており、この高さを拾ってしまう点は注意を要する。

Mapstarは電子コンパスであり、水平方向の方位角を誤差0.3度内（カタログ値）で取得することができる。MapstarとImpulse200をシリアルケーブルで接続することで、Impulse200のトリガーとMapstarのトリガーを同期させることが可能であり、データ記録用のPCに、双方の計測値をひとつとした下記のようなセンテンスを送信できる。これらの値と機器の設置場所の座標をもとに、計測対象となる点の3次元座標を計算する。なお、データ記録用PCの設置場所の自由度を高めるために、計測器・データ記録用PC間のデータ送受信は無線化した。

センテンス例：

\$PLTIT,HV,2.26,M,269.93,D,-34.86,D,2.76,M*71

今回の調査では、この計測システムにさらに電動雲台を加え、マイコン制御で自動的に指定範囲を計測できるよう手を加えた（図7）。具体的には1）指定間隔でトリガー（計測スイッチ）をひく、2）計測器を指定範囲・速度で水平・垂直方向に回転させるという2つの操作を実現する。

Impulse200のトリガーはコマンドではなく端子をショートさせることで制御するため、指定間隔で端子間をショートさせる回路を作成し、これによって自動的にトリガーを引くようにした。次に機材の方向を自動制御するための電動雲台を選定した。残念ながらImpulse200の計測間隔は最も短くて1秒であり、Mapstarも同様と低速である。

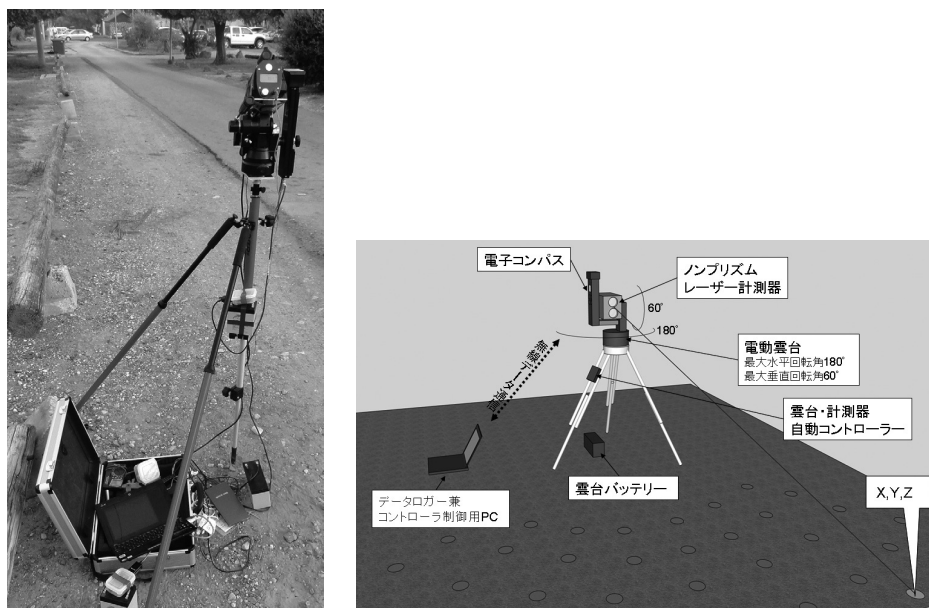


図7 今回の調査でもちいた計測システム

従って、最低でも計測に2秒を要することとなるため、電動雲台には速度は要求されない。むしろ、総重量1.57kgとなる両機材を搭載したうえで、水平・垂直の2軸に安定して回転するトルクを持つことが条件となる。そこで、この条件を満たすものとして天文観測用の電動雲台を転用することとした。また、天文観測用の電動雲台には、コントロール用のリモコンが付属されており、改造が容易であるという利点がある。

使用した雲台のモーターはステップモーターではないため、回転量のコントロールはコマンド方式ではなくリモコンスイッチのオンオフにより行う。そこで、リモコンの上下左右の回転ボタンのスイッチを指定間隔でオンオフさせる回路を作成し、回転量の制御を可能とした。計測時には回路のマイコンにPCを接続し、計測時の点間の解像度と計測範囲などの計測条件のパラメータを設定する。PC側でマイコンの設定を行った後は、設定範囲の計測が終わるまで自動的に計測が行われる。なお、水平（方位）・垂直角はそれぞれ Impulse200 と Mapstar のセンサーで計測されているので、モーター制御上の回転量の多少の違いは問題とはならない。本計測システムの製作コストは計測機器（合わせて約60万円）、電動雲台（約2万円）や回路制作費（1万円以下）などで、65万円以下である。

(5) 現地での野外作業

計測は2010年の8月3日から8月25日の23日間（うち実質的な作業は17日ほど）で行った。なお、調査期間が夏季であり、日中の気温が40度にもなることから、調査団としての野外作業は主に早朝から昼前までとなる。この日程のうち基準点測量に2名が組となって1週間ほどもちい、その後の地形計測は1～2名（計測は自動なので作業は移動・設置と回収のみ）で行った。キブツ内では住居や樹木によって見通しが利かないため、計測対象範囲をすべて計測するためには、個別に小範囲を計測し、その後それらを統合しなければならない。そのため計測に先がけて、計測地点に基準点を設定することから始め、順次計測を進める必要があった。実際の作業とその流れは以下の通りである。

① 基準点の設置

基準点の精度はそのまま統合時の地形データの計測精度に影響するので、設置にあたっては、今回の調査における選択肢のなかで最も高い精度が期待できるトータルステーションを用いることとした。なお、早川・津村（2008）はRTK-GPSを応用することで、この基準点設定を不要とする工夫を行っている。調査団ではRTK-GPSを持ち合わせていないため、この方法は見送らざるを得なかった。SBASによるD-GPS測位¹⁾についても検討したが、前年度の調査において本対象地域では補正信号を受信できないことを確かめている。

現地を歩き、見通しを考慮しながら基準点網の設置計画を立てた後、実際の計測を行った。最終的に平均約40m間隔で72点の基準点を設置した（図8）。

② 機器の設置

基準点に機器を設置し、計測可能な範囲（見通し）に応じて機器の水平・垂直の回転量についてパラメータを設定する。これは、適切な計測範囲を指定することで、計測時間をなるべく短縮するためである。計測点の解像度（点間の間隔）の設定は50cmに統一した。設置からパラメータ設定まで、操作には概ね10～15分ほど要した。

③ 自動計測

②の設定を行った後は、コントローラーの電源を入れて計測を開始する。計測時間は範囲によるが、概ね1時間半から3時間ほどである。図化する全範囲をカバーするために全72点の基準点のうち、概ね60点を使用した。平均して1点2時間かかったとして概ね120時間を要した計算となる。もっとも、計測中に人がついている必要は無く、

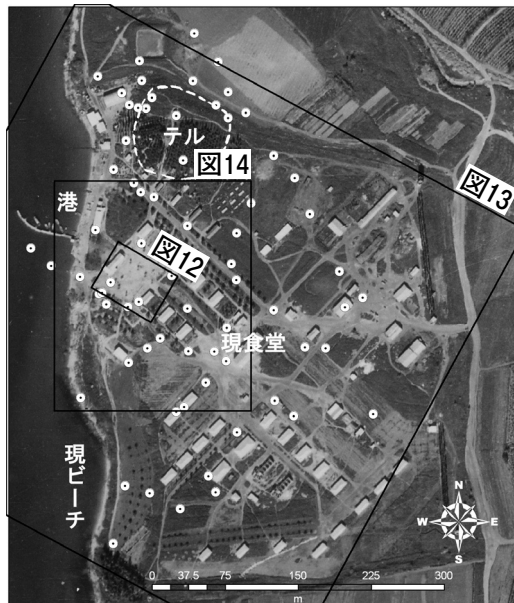


図8 キブツ エン・ゲヴ内に設置した基準点の分布
黒枠は本稿内の図の範囲と対応する。

その間は他の作業に従事できるため、実質的な野外作業時間は機器の移動と②の設定にかかる時間である。

(6) 現地における室内作業

先述したとおり野外作業は午前中を中心に行うので、午後は室内作業の時間となる。午後は、機材をまだ計測の終わっていない場所に設置して自動計測を進め、その間に室内作業として午前中に得られたデータのチェックとクリーニングを行った。室内作業の流れは以下の通りである。

① データのチェック（計測範囲やデータの欠損など）

それぞれの基準点で計測したデータをチェックし、計測範囲の設定ミスや機器の動作不良によるデータの欠損など、計測結果に問題がないかを確認する。また、近隣のデータと合わせて表示し、高さの不整合がないかなどについてもチェックを行う。問題があれば同一箇所を再計測する。

② データのクリーニング

データには樹木や住宅などの障害物が計測された値も含まれている。これらの不要

な値を取り除き、地表面のみの値が残るようクリーニングを行う。クリーニングには Stoney Designer というフリーウェアを利用し、手動で不要な値を除去した。基本的には連続した曲面を描く地表面から、不自然な高まりを示す箇所を除去してゆくが、モニターで判断がつかない場合は実際に現場を観察して照合した。

③ データの統合

最後に、クリーニングが終わった全てのデータをひとつのデータとして統合する。統合後に、もう一度データの不整合などの有無やクリーニングのし忘れなどを確認する。最終的に点の数は約5万点となった（図9）。



図9 計測した全ての点とその分布

テル上は昨年度計測済み。図の範囲は図8と同じである。

④ 点群の内挿処理（DSM 作成）

③により得られた点群のデータから、点と点の間の空白を推計し、面的なデータとして生成する。この処理を内挿（interpolation）と呼び、何種類かの方法がある。なお、こうした方法で得られる面的なラスタ形式の標高データを一般に数値標高モデル、すなわち DEM（Digital Elevation Model）と呼ぶ²⁾。今回は Kriging 法で生成した DEM が現地の地形と最も整合性が良かったため、これを採用することとした（図10）。

また、障害物によって計測できなかった箇所についてはマスクをかけ、「データ無し」として扱い、面を生成していない。

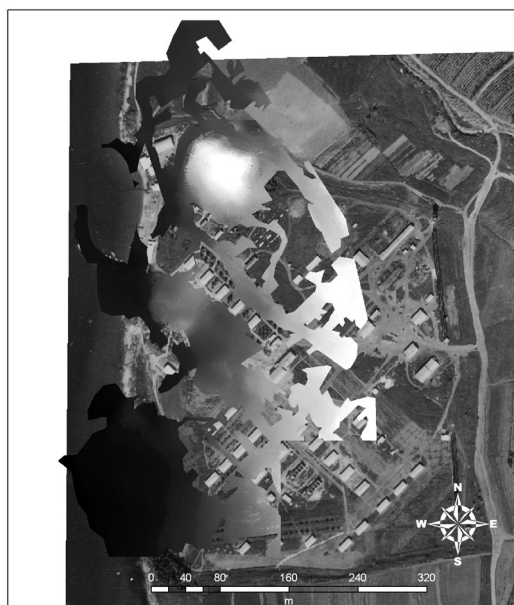


図10 計測した点群をKrigging法で内挿して得られたDEM
色が濃いほど標高が低い。図の範囲は図8と同じである。

⑤ DEM のチェック・評価

④で生成されたDEMから陰影図を作成し、DEMの評価を行った（図11）。全体としては、地形の状況や詳細が精緻に表現されているが、かなりの数の細かい凹凸が認められ、クリーニングで処理し切れなかったエラー値があらわれている様子が確認された（図11右）。再度クリーニングを行い、これらの除去を試みたが、林や草むらなどについては境界の判断も難しいうえにエラー値も多く、手動で除去するには限界があった。今後除去のアルゴリズムの開発とこれを実装したプログラムによる解決も考えていく必要があろう。課題としたい。

⑥ コンター（等高線）の生成・評価

次に、DEMからコンターの生成を行った。この結果、特にコンター間隔を狭くした場合に、⑤で述べたエラー値が影響を及ぼし、これらを回り込むような波だった等高線が生成されるという問題が生じた。そこで、等高線のGeneralize処理によってこう

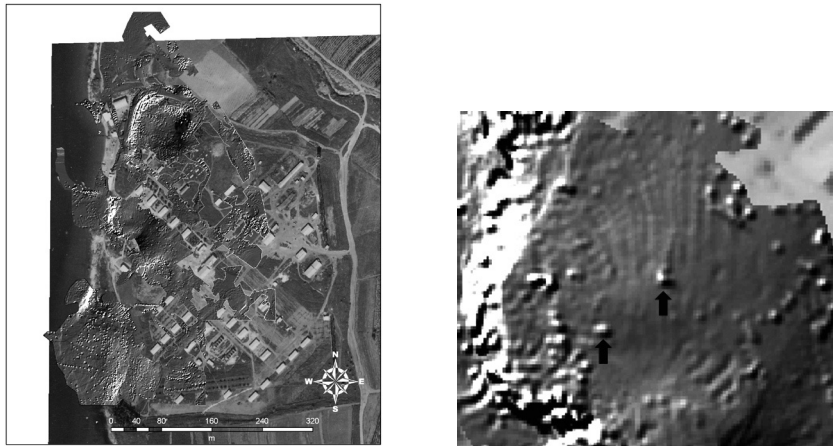


図11 左図：全体の陰影図（図8と同範囲）
右図：陰影図にあらわれたエラー値（矢印以外にもあり）

した高周波的な成分を平滑化し、より自然なコンターとなるよう調整を行った（図12）。

この結果、概ね妥当と思われるコンターを得ることができたが、大縮尺で微地形を観察する際に手がかりとなる細かい地形の変化箇所も含めて曲線化してしまう様子も認められた。微地形を観察する際には、不自然な箇所はあっても Generalize をかける以前の等高線を利用する方が有効な場合があった³⁾。

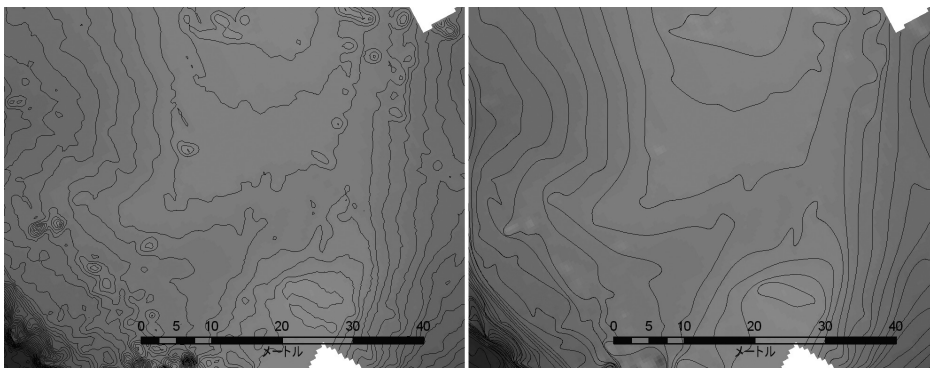


図12 Generalize 前（左図）・後（右図）の等高線の形状変化

（7）大縮尺地形図の作成

地形図の作製には、1）測量によって得た発掘区のグリッド、2）近年のオルソ空中写真のトレースによって作成した道路・建物の境界、3）前節で作成したコンター



Topographic map of Tel `Ein Gev

Projection : ISRAEL TM GRID

Surveyed : 2009-2010

Created : 2010

Created by : Keio university excavation team

Streets and buildings are extracted from aerial photographs. Some of the structures below trees may not be depicted in this topographic map.

図13 作成された全体の地形図



図14 陰影図とコンター（generalize無し）で見る微地形

を利用した。ただし、空中写真では樹木の下に隠れて確認できない建物もあり、現時点では一部記入がないものもある。作成した地形図と1950年代の空中写真を背景として重ねたものが図13である。

また、陰影図とコンターを重ねることで、地形変化の状況や微地形が詳細に確認できる。例えば図14からは明瞭な谷地形と、その北側の高まりが見て取れる。この周辺の一部は1961年に Mazar et al (1964) によって発掘調査が行われており、その際に遺構も確認されている（図15）。比較的平坦な周辺に対し、やや高くなっているという特徴は地下の遺構など人為的な原因も含めて検討をする必要があるかもしれない。また、この高まりのなかの微地形として、浅い谷状の地形が特徴であるが、未舗装の道が重なっているため旧地形であるか近年の侵食によるものかは判然としない（図14点線B）。一方、谷地形を観察すると、陸側に入って後もしばらく北側にやや偏るかたちで浅くではあるが谷が続いている様子がうかがえる（図14点線A）。この理由として旧河道などが想定され、この谷地形の成因を考える上で興味深い。レーザー計測による高密度な点群から地形データを生成することで、一般の測量では難しいこうした微細な地形変化についても検出することができた。

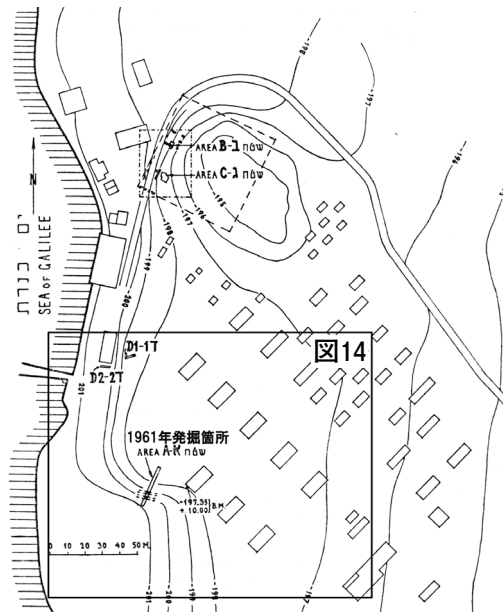


図15 B. Mazarらによる1961年の発掘区
B. Mazar et al (1964) に加筆

(8) 計測手法の評価

エン・ゲヴ遺跡における計測結果をもとに、計測手法の全体的な評価について述べる。本手法では計測を自動化したことで人員の省力化や労力の削減など、特に野外における作業の効率化を図ることができた。ただし、1つの基準点あたり平均1時間半から3時間程度の計測時間がかかるため、一日の実質的な計測時間を8時間としても全域では15日間かかってしまう（実際には、再計測などの必要もあり、17日間ほどの計測となった）。短期間でデータ収集を行うという点については改善の余地が残された。

計測精度については概ね満足のいくものであったが、除去しきれなかった樹木・住宅・構造物などのエラー値が問題となった。データのクリーニングにおいて障害物と地表面の区別がつかないケースもあり、すべてのエラー値を除去することは現実的に困難であった。基準点毎に得られたデータを統合する段階では、障害物等で計測ができずに残された空白地の処理が課題となった。もっとも、これは一般の測量手法においても生じる課題であり、空白地の補完が必要な際は、周囲の計測結果に調査者の経験と観察を合わせて推定をせざるを得ない。生成された地形図は、陰影図と合わせて

微地形の観察に活用したほか、調査や GIS による調査の情報基盤の背景図として利用した。

以上のように、野外の計測作業の効率化が図られた一方で、データクリーニングにおける労力が想像以上に大きいことが分かった。これらのことから、地形図の作成というトータルの作業としてみた場合、必ずしも他の測量方法と比べて効率的であると断じることのできない結果となった。ただし、イスラエル国内の他の多くの遺跡のように、樹木や住宅などの計測上の障害物が極めて少ない条件下においては有効な方法となろう。

5. まとめ

本研究では、2009年に引き続いて行った2010年8月の現地調査による地形計測に加えて、地形図・空中写真判読を行い、湖の東岸に位置するエン・ゲヴ遺跡周辺の微地形復元を行った。その結果、エン・ゲヴ遺跡とその周辺地域に分布する複数の旧河道の存在が明確になった。

また、ガリラヤ湖岸および湖底の地形図や、水位変動に関する資料に基づいて、ガリラヤ湖の湖岸・湖底地形、水位変動の特徴を整理した。

本研究には、平成22年度 慶應義塾大学次世代研究プロジェクト推進プログラム「古代イスラエル王国成立に対する周辺諸民族の影響解明への総合的アプローチ」（研究代表者：杉本 智俊）の研究費を使用した。

注

- 1) 補正情報を送信する衛星からの信号を受けて GPS の精度を向上させることが可能である。北米・ヨーロッパ・日本などがカバーされている。ヨーロッパの運用する EGNOS の受信を期待したが受信できなかった。
- 2) 今回生成された標高の面的データには芝生などの高さが含まれており、このような地表面上の対象物を含む標高データは正確には DSM (Digital Surface Model) と呼ぶ。今回は芝生の高さによる影響は地形観察において無視できる程度であるため、DEM の呼称をもちいた。
- 3) 一般の地形図作成においても、計測された標高点を理想的な曲線でつなぎながらコンターを生成する。今回の手法では、高密度の点群で自動的にコンターを引くので、細かい高低差やエラー値の介在によって、コンターとしては不自然であっても、地形変化の判読には

有効なことがある。

文献

- 月本昭男・長谷川修一・小野塚拓造編 (2009):『エン・ゲヴ遺跡 発掘調査報告1998-2004』(リ
トン), 285p.
- 早川裕一・津村宏臣 (2008): LRF と DGPS を用いた野外調査における地形測量: トルコ, ハ
ジトゥール・テベ遺跡における適用事例. 地形, 29 (4), 421~434.
- 松原彰子・渡部展也 (2010): ガリラヤ湖東岸エン・ゲヴ遺跡の立地環境. 慶應義塾大学日吉紀
要 社会科学, 20号, 23~42.
- モシェ・コハビ (2000): キネレット湖地域の考古学的重要. 松井 章・牧野久実編:『古代湖の
考古学』(クバプロ), 89~98.
- B. Mazar, A. Biran, M. Dothan, and I. Dunayevsky (1964): *En Gev Excavation in 1961*. IEJ 14,
1~49.
- Geological Survey of Israel (1990): *Sea of Galilee — Bathymetric Map* (1 : 50,000).
- Jordanian Ministry of Water and Irrigation, Palestinian Water Authority, and Israeli
Hydrological Service (1998): *Overview of Middle East Water Resources — Water Resources
of Palestinian, Jordanian, and Israeli Interest*. Executive Action Team, Middle East Water
Data Banks Project, 155p.
- Nun, Mendel (1991): *The Sea of Galilee : Water Levels, Past and Present*. Kibbutz Ein Gev :
Tourist Department and Kinnereth Sailing Co. 24p.
- Survey of Israel (1999): *Israel Topographical Map* (1 : 50,000).
- The Hydrological Service of Israel (2009): Water Level of The Sea of Galilee and The Dead
Sea.