

リモートセンシングデータからの発掘跡の検出に関する基礎的検討

福井工業高等専門学校
福井工業高等専門学校
(株) 田中地質コンサルタント
中国歴史博物館遥感与航空摄影考古中心
内蒙古考古研究所
上海田中地質咨询有限公司
福井工業高等専門学校

学生員 ○ 大坂英之
春木裕介
田中保士
楊 林
塔 拉
張 忠良
正 員 辻子裕二

1. 現地検出対象の概要

中華人民共和国における遺跡群の考古学的な価値は世界的規模でみても大きく、その数も天文学的である。さらに、その分布が広範に渡る等の要因から未発掘地点も多い。未発掘地点は地下に埋設されていることが多いため可視情報の活用は困難と考えられるが、発掘時あるいは時後であれば衛星データ等による可視情報の利用が容易である。とくに、中国のように対象が広大な場合はその利用価値も高い。以上より、本研究では広域な対象から形状に規則性のある地物を検出するのに有効な衛星リモートセンシングデータの利用を念頭に、擬似地盤モデルを用いて竪穴状の発掘地点を検出する方法（孔デテクタの開発）について検討した。

2. 現地検出対象の概要

2000 年 3 月から 4 月にかけて筆者らが実施した内蒙古赤峰現地調査では、成吉思汗邊牆遺跡（図 1、調査地点①）、遼上京（同調査地点④）、遼中京（図 2）らの城壁に特徴のある巨大な遺跡群の他、数箇所の墓群（図 1、調査地点②および③）を対象とした。現地調査結果の一部を表 1 に示す。この中で、主として発掘跡が確認されたのは、調査地点②および③である。2 箇所とも周辺部分を含めれば、ADEOS AVNIR Panchromatic の解像度で 1 画素程度の大きさである。

3. 現地地盤資料の反射特性と室内実験材料の同定

室内実験に用いる擬似地盤モデルの材料を特定するため、現地表層地盤ならびに日本国内で利用可能な地盤材料の反射スペクトルを測定した。反射スペクトルの測定には、Ocean Optics 社製マルチチャンネル分光システム USB2000-RF（スリット幅 100 μm）を用いた。測定は炉乾燥した資料を用いて、光源（ハロゲン球光）を照射し反射強度が飽和しないように暗室で実施した。測定の結果、絶対値に大きな差が見られるものの、最大値と最小値が一致するように線形変換すれば、福井県宮崎村産陶芸用粘土で代用できることが確認された。したがって、この粘土を擬似地盤モデルの材料に選定した。

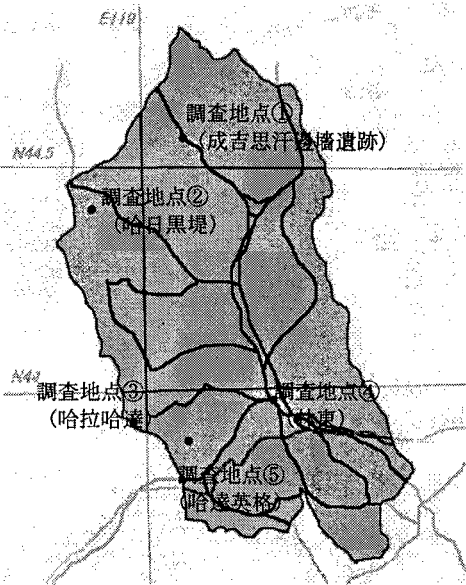


図 1 赤峰巴林における調査地点

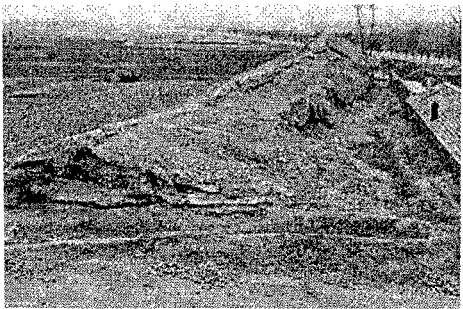


図 2 遼中京遺跡の城壁

表 1 現地調査結果

調査地点	調査地点②	調査地点③	調査地点④	調査地点⑤	備考
含水比	15.5 %	6.2 %	4.1 %	5.6 %	※1 山中式土 壤硬度計に よる ※2 色彩アト ラスによる
支持力（貫入量）※1	18～21 mm	31 mm	34～35 mm	16～18 mm	
地盤の表面温度	8.4 から 4.4 ℃	6.0～7.8 ℃	7.1～9.9 ℃	15.3～16.4 ℃	
地盤の色※2	S90M50Y60	S80M50Y99	Y50C50M50	S80M30Y40	
備考	墓地発掘地点	墓地発掘地点	遼上京北門城壁	遼祖州山腹墓地	

4. 擬似地盤モデルと撮影方法

擬似地盤モデルは、内径 60mm のスチール製容器に粘土を水溶したものを充填・炉乾燥を繰り返し、表面が水平になるように作成した。現地調査結果を参考に、発掘跡のモデルとして擬似地盤モデルに指針し、直径約 60 μ m（深さ約 1mm）の孔を開けた。方位角 120° の方向が画像の天となるようにデジタルカメラ（Olimpus 社製 C-2020ZOOM）を鉛直下方に向けて設置し、高度 45° 真南位置からハロゲン光を照射した。撮影は、縦 1600 画素×横 1200 画素（192 万画素）、焦点距離 300mm を固定して行った。また、方位角 30° が画像の天、高度 45° 真東位置からハロゲン光照射の場合についても同様に実施した。撮影された画像は、北南を天地にして ERDAS で幾何補正し、撮影条件の差を軽減するためにヒストグラムマッチング処理を施した。最終的な画像の解像度は約 57 μ m/画素である。

5. 孔デテクターの開発および孔検出結果

本研究で要求されるデテクターには、面的な形状を反映できるものが望ましいことから、集合論に基づく morphology の概念を用いて定式化を試みた。本研究で検討した式の内の一つを次式で示す。次式では、画像座標 (x, y) に対して境界成分が $f_{hole}(x, y)$ として出力される。

$$f_{hole}(x, y) = f_{org}(x, y) - f_{ero}(x, y) \quad (1)$$

ここに、 f_{ero} は、原画像 f_{org} のフィルタ k による erosion 処理（Minkovski 差）画像である。 k には、**図 3** のすり鉢状フィルタを用いた。出力された画像から容器の境界等明らかに対象と異なるものにマスクをかけて対象外とした。対象領域は直径 850 画素の円形領域（567362 画素）となった。式(1)の結果に対して閾値を 20（対象領域の約 1%の画素が孔に相当）および 25（同じく約 0.3%の画素が孔に相当）に定め二値化した。発掘前後（孔設置前後）の画像に対して同様の作業を行い、差画像をとって最終結果画像（**図 5**）とした。これと同様の条件で 3×3 の Laplacian 画像（**図 6**）に対しても処理し比較した。ただし、**図 6** は対象領域の約 2%が孔（境界）に相当するとして閾値処理したものである。実際の孔の位置（**図 4**）と比べて式（1）の有用性が確認できる。とくに、適切な閾値処理によりノイズの少ない孔の検出が容易になることがわかる。Laplacian は線状の対象物の検出は比較的効果的であるが、孔の場合には有効でないことも確認された。

2	1	2
1	0	1
2	1	2

図 3 本研究で用いた
フィルタ k
(3×3)

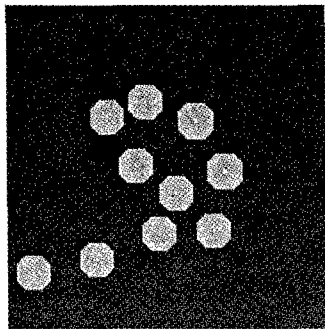
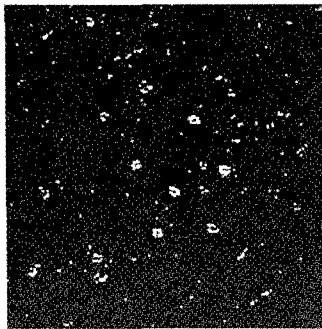


図 4 目標画像（検出目的の孔は内部の白い点）



(a) 閾値を 20 とした場合



(b) 閾値を 25 とした場合

図 5 式(1)による最終結果画像の一部



図 6 Laplacian による最終結果画像の一部

6. まとめ

本研究で対象とした発掘跡のように、予め形状が明らかな場合には形態論的なアプローチが有効であることが確認された。今後は、実際の衛星画像に適用し、検出精度を検討する予定である。

謝辞：本研究の一部は科学研究費補助金（奨励研究（A））、課題番号：12750487）を受けて行った。また、現地調査は土木学会関西支部平成 12 年度海外派遣の助成を受けて行った。さらに、現地調査では赤峰市および赤峰巴林左旗の文物局関係者に多大な協力をいただいた。以上に関して記して謝意を表する。

<参考文献>

- [1] 楊林：空中考古-内蒙古東部航空考古記-，中国国家地理雑誌，No.461，pp.42-51，1999.
- [2] 辻子裕二，田中保士，楊林，塔拉，張忠良：衛星画像による内蒙古東部（赤峰巴林左旗）遺跡群の探査-その1-現地調査の課題と手法，日本文化財探査学会第 3 回大会研究発表要旨集，pp.2-3，2000.