

# パルスレーザ及び熱画像を利用した 干潟地形観測手法

THE OBSERVATION METHODS USING PULSE-LASER AND  
THERMO-GRAPHY ON THE GEOGRAPHICAL FEATURE OF THE TIDAL FLAT

中島秀雄<sup>1</sup>・米原吉彦<sup>2</sup>・清水勝義<sup>3</sup>・石田辰英<sup>4</sup>・徳永企世志<sup>5</sup>

Hideo NAKAJIMA, Yoshihiko YONEHARA, Katsuyoshi SHIMIZU,  
Nobuhide ISHIDA, and Kiyoshi TOKUNAGA

- <sup>1</sup> 国際航業㈱国土マネジメント事業本部水域環境部(〒191-0065 東京都日野市旭が丘 3-6-1)  
<sup>2</sup> 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所環境課長 (〒730-0029 広島県広島市中区三川町 2-10)  
<sup>3</sup> 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所長 (〒730-0029 広島県広島市中区三川町 2-10)  
<sup>4</sup> 正会員 国際航業㈱新事業開発本部シビルコンサルタント部(〒102-0083 東京都千代田区麹町 3-2)  
<sup>5</sup> 国際航業㈱総合技術部海洋調査グループ(〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 3-6-3)

In order to observe the geographical features conveniently, as a information of the tidal flat formation, we conducted the observation using Pulse-laser and Thermo-graphy at Yuzaki-Higata tidal flat at Mizushima port, Okayama prefecture. As a result of this observation, we concluded following matters:-

- 1) Geographical features at the area covered by the water, we could not observe the geographic features by Pulse-laser. However, at the other area, using Pulse-laser, we could obtain the geographical features more effectively than using the other existing methods.
- 2) Using Thermo-graphy, we could observe the location of the tidal flat and bird's flying even in the dark.

**Key Words :** geographical features, tidal flat, Pulse-laser, Thermo-graphy

## 1. まえがき

干潟は、潮汐によって干出と水没を繰り返す勾配の緩い沿岸域であり、多種多様な生物・生態系が生息しており、水質浄化機能、生物生産機能、親水機能など、多くの役割を果たしている。国土交通省では、干潟のような貴重な自然環境を積極的に保全・創造する取り組みを進めている。しかし、期待する機能を十分に発揮する干潟を創造するための技術には、まだ研究の余地が残されている。特に干潟の地形変化を的確に予測することは難しく、モニタリングを行い、その変化特性を把握するなど、様子を見ながら適宜対応することが必要である。しかし、地形に関するデータ取得は観測員が直接干潟上を移動しながら実施しており、多大の時間と費用を費やしているのが現状である。そこで、本研究では干潟の形成基盤となる地形を容易に観測するため、パルスレーザ及び熱画像を利用した観測手法の有効性について考察を行う。

## 2. 研究の内容

本研究は、国土交通省中国地方整備局宇野港湾工

事事務所により岡山県水島港勇崎干潟(図-1)を対象として実施された地形測量と合わせて、2001年11月16~17日及び2002年3月2日の大潮期最干時にパルスレーザ及び熱画像利用による観測を実施したものである。

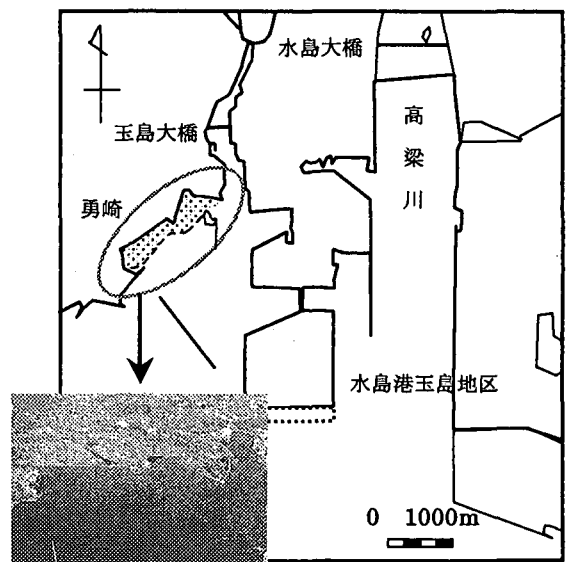


図-1.調査対象エリア

勇崎干潟は、砂礫、泥砂で構成された前浜干潟であり、後背地にはコンクリート突堤、石積突堤が、潮間帯には根固石、滞が存在する。観測に用いた機器は、港湾設計・測量・調査等業務共通仕様書<sup>1)</sup>の精度基準を満たした光波測距儀（以下、TS とする）及び比較対照機器として選定したパルスレーザを光源とするノンプリズムトータルステーション（以下、NPTS とする）、パルスレーザにより対象物をスキャン測距する3D スキャン（以下、3D とする）である。これらの機器を用いて、干潟近傍の地点にて観測を行い、干潟地形の観測可能距離、精度について比較検討した。また、赤外線熱画像装置（以下、熱ビデオとする）を用いて地表面（水面）の温度を観測することによって干潟の特性について熱画像解析を行った（表-1）。

表-1.各調査手法の概要

使用機器	観測距離	精度
TS (10" 読み)	7~1,000m	距離±15mm 角度10"
NPTS (INT5000)	5~1,000m	±20~50mm
3Dレーザースキャナ (LMS-Z210)	2~350m	±25mm
熱ビデオ (赤外線熱画像装置)	距離:30cm~∞ 温度:-20~300℃	-

ここで、TS は地盤高を直接水準測量するレベル測量とは異なり、距離と角度から2点間の高低差を以下の式で間接的に求める方法である（図-2）。

$$H_B = H_A + h + (S \times \sin \theta)$$

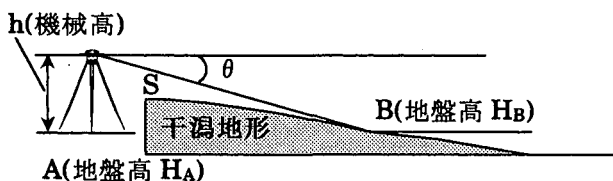


図-2.間接水準測量

TS によってこれまでの直接水準測量と同様に手軽に観測を行えるようになったが、この観測には大気の屈折、地球の形状から距離に応じて無視できない誤差が含まれる。TS には一般にこの誤差を補正する機能が設けられている。そのほか、角度誤差により水準測量結果に誤差を生じる。本研究で使用した10"の角度誤差をもつTSでは、各測量距離に応じて表-2に示す距離誤差が生じることとなる。

したがって、TSを使用する場合には、直接水準測量よりやや精度が劣ることを踏まえて、観測することが重要である。本研究では、干潟という潮位の影響などを受け、常に変化している場所を対象としていることから、この誤差は大きくはないと判断した。

表-2.観測距離毎の水準誤差

観測距離 角度誤差	50m	100m	150m
10"	2.42 mm	4.85 mm	7.27 mm

### 3. パルスレーザによる干潟観測

パルスレーザを用いたNPTS,3D はレーザの特性から水分の残った干潟部では反射率が弱く、地盤高を実測することが困難であった。そのため観測可能距離はNPTS が約1,000m,3D が約350mを確保しているが、今回の観測時に確実にデータを取得できたのは干潟が干出した200m程度までであった。また、それより短い距離でも、水分の残った部分については欠測となった。そこでNPTS では実測データからTINモデルを発生させ（図-3）、周辺の実測データ3点から計算することによって欠測データを補完した。また3Dでは半径1m以内のデータを平均して、任意の地点の地盤高とした。

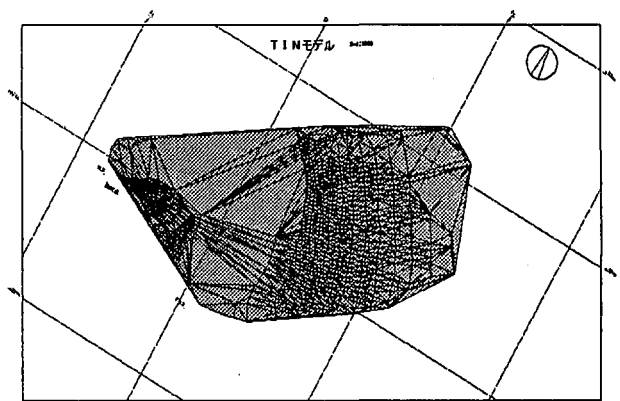


図-3.TINモデルによるデータ補完

このようにして、取得したデータとTSで実測したデータから断面図を作成して比較した（図-4）。

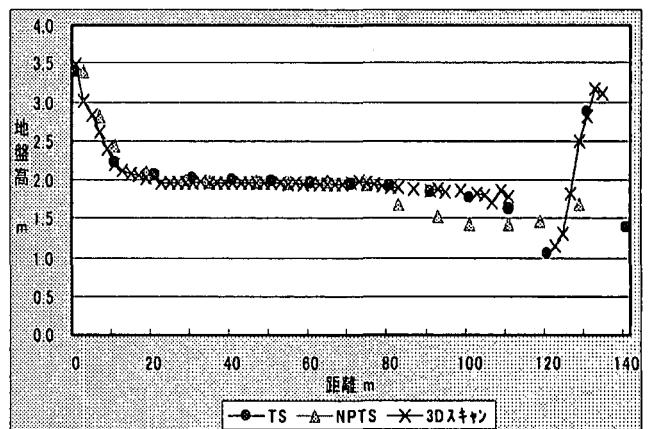


図-4.比較断面図

その結果,TS と NPTS,3D 各々の相関係数は 0.92,0.99 と高い値であった.また,欠測がほとんどなく観測できた 0~80m 地点までの観測誤差は NPTS が±20cm,3D が±10cm 以内であった(表-3).

表-3.TS と NPTS,3D データの誤差

観測距離	NPTS	3D
0m~80m	-7cm~+20cm	-10cm~+4cm
80m~140m	-64cm~+35cm	-16cm~+6cm
0~140m	-64cm~+35cm	-16cm~+6cm

また,高所作業車を利用して,観測地点を約 13m 高くして観測を行った結果,NPTS で約 500m まで,3D で約 150m まで観測可能距離が延びた.これは,観測地点を高くすることによって,干潟へのレーザの入射角が深くなり反射パルスが大きくなったためと考えられる.水分が残った部分では欠測してしまうという課題はあるが,ノンプリズムで観測が可能ことから干潟部へ人が入ることなく観測できることは有意義といえる.

#### 4. 熱画像による干潟観測

パルスレーザによる干潟観測では,水分が残っている部分の観測が難しいことから,熱画像を取得することにより水際線観測の補完,鳥類飛来状況の把握,また潮位と熱画像干潟地盤高の観測について検討した.

##### (1) 写真と熱画像との比較

熱ビデオと写真により干潟を観測した結果を比較した(図-5,6).写真で確認することができる干潟部,海域,干潟に飛来した鳥など,熱の差があるものについては,熱画像によっても把握することができた.

また,写真では判別の難しい干潟干出部の水分残留状況についても,その温度差から,判別することが可能であった.

さらに日没後,暗くなると,肉眼,写真では確認することができない水際線の位置,干潟へ飛来する鳥類についても熱画像では観測することが可能である.しかしながら,暗くなってから干潟部を観測するには,観測者の肉眼では確認することが困難であることから,明るいうちに観測ポイントを設定して機器を取り付けておくとともに,明るい時にも熱ビデオ観測を実施し,熱画像として観測されるであろう対象物についてのデータを取得しておき,より正確なデータ解析ができるようにすることが必要となる.

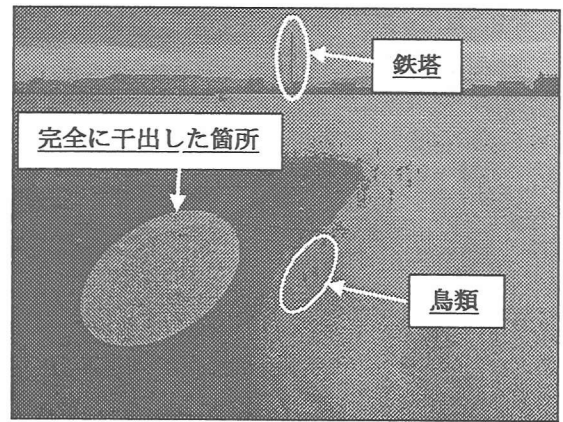


図-5.写真からの解析



図-6.熱画像からの解析

図-6 に引いたライン上の熱データをグラフ化すると,干潟干出部と水面の境界で急激に温度が変化しており(図-7),水際線近傍の干出部と水面では,約 3°Cの差があることが判る.また干出部においても水分が残っている部分は,完全に干出している部分よりもやや温度が高い(約 1°C)ことが読み取れる.

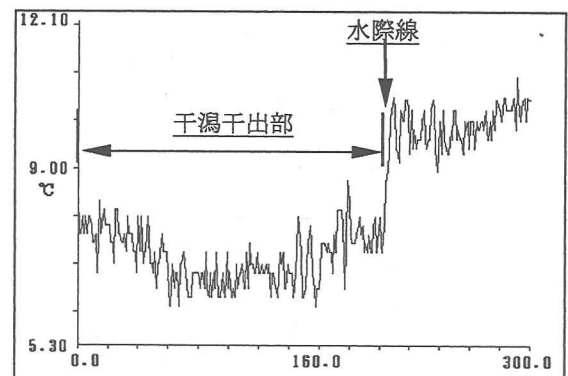


図-7.干潟の温度変化

このように同じ干潟干出部でも水際線の内側でも表面の温度がやや異なることから,そこに生息する生物・生態系の種類,地盤環境が異なることが想定される.

## (2) 写真と熱画像による干潟の連続観測

平成14年3月2日の大潮期に、干潟の連続観測を行った。観測は干潟背後の高所(標高約40m)からデジタルカメラと熱ビデオにより、7:30~11:00及び16:30~20:30にかけて30分毎にデータを取得した。取得したデータは観測地点1点からの観測であるため、地形に依存して幾何学的に歪んで観測している(中心投影)。この地形による歪みを解消するには、地表を投影面に対して垂直に投影(正射投影)する必要がある<sup>2)</sup>。

そこで画像解析ソフトを利用し、正射投影データである国土地理院発行の数値地図と重ね合わせることによって、現地で取得した写真及び熱画像データを正射投影した(図-8)。

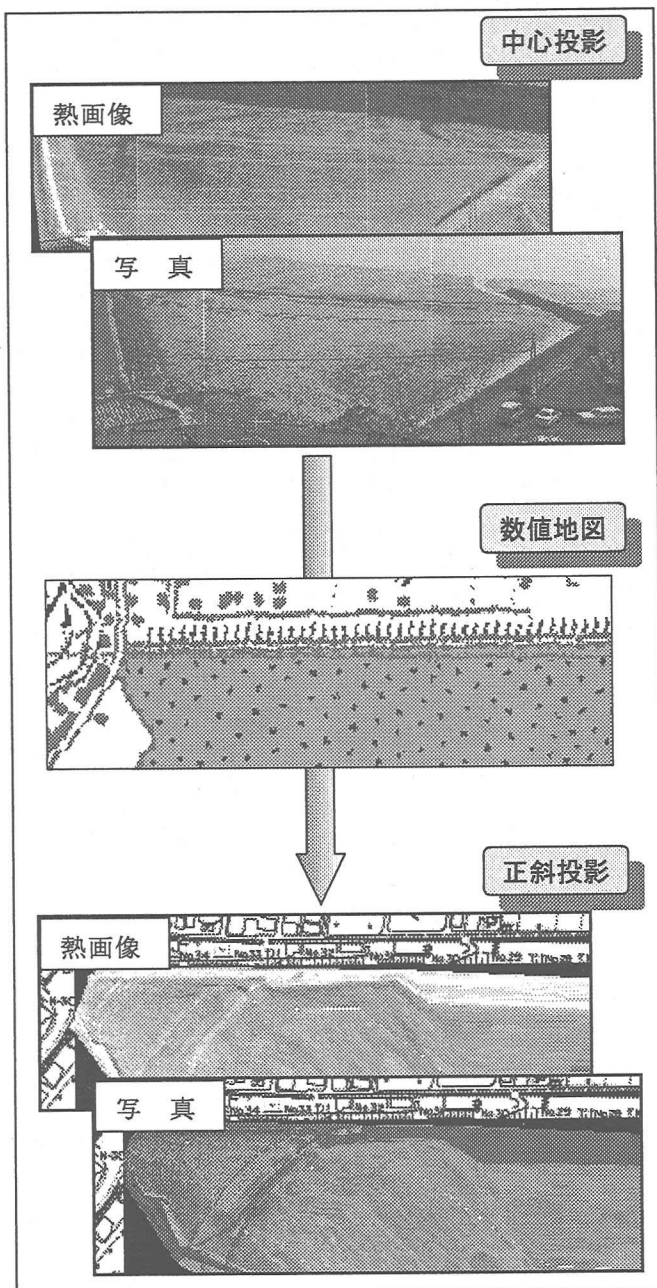


図-8.観測データの正射投影化

日没後、夜間は写真では水際線を確認することは不可能であるが、熱画像データによると水域と陸域との境界を熱データの違いとして観測することができる。しかし、干出後もしばらくの間は水域と陸域の温度にあまり差がみられない場合がある(図-9)。これは干潟が干出してもいづらか水分が残っていること、また干出部がすぐには温度が下がらないことなどが影響していると考えられるが、その際は写真により判別する必要がある。このようなことから、水際線を昼間、夜間を問わずに連続して観測するためには、写真と熱画像両方による観測が望ましいと言える。

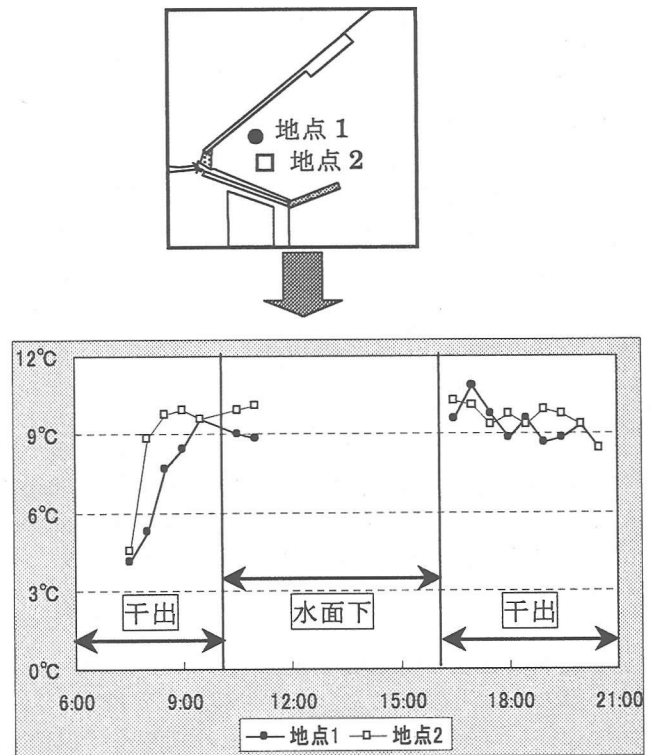


図-9.観測地点別の熱データ

今回の観測地点は干潟背後の高所から観測したことにより、正射投影化の作業が非常に困難であった。正射投影するには数値地図との標定点が必要となるが、元来、干潟部は平坦な砂泥質のため、標定となる点が十分ではなかった。そこで、周辺の護岸の端部などを標定点としたが、観測地点があまり高くなかったため、干潟に対して傾斜角度が浅く十分に正射投影化ができなかった。しかしながら、潮の満ち引きに伴い常に移動している水際線の位置を概略的に把握することはできた。

このようにして、写真と熱画像から解析した水際線の変化を図-10に示す。

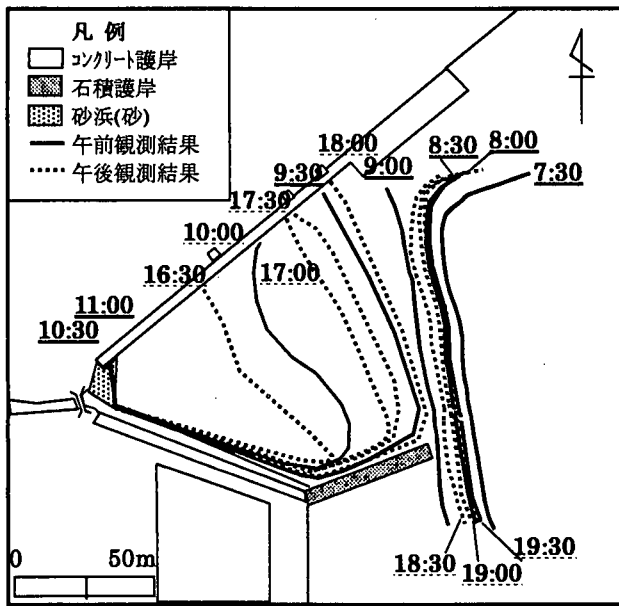


図-10.水際線の経時変化

水際線は護岸に近いほど、移動量が大きくなる。これは護岸に近いほど、干潟の勾配が緩やかなことによる。また、標定点の設置、数値地図との重ね合わせによって、水際線の座標を求めることも可能である。

### (3) TS と熱画像、潮位による水際線の比較

調査対象エリアに最も近い玉島検潮所における観測日の潮位は、図-11 のとおりであった。この潮位は、水際線上の地盤高と見なすことができる。

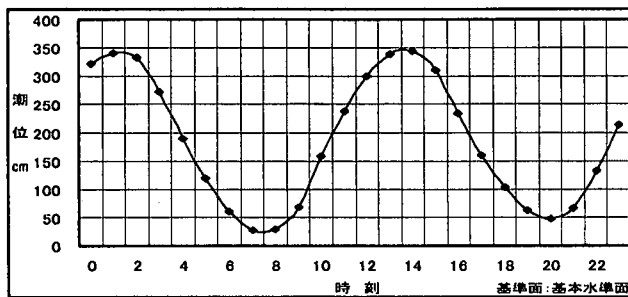


図-11.観測日(3/2)の潮位データ

ここで、TS により実測した地盤高データより解析した等高線図とその地盤高値(DL上150cm)に相当する潮位時刻を図-11 から求めると、9:50、17:10となる。その時刻に最も近い熱画像データは10:00、17:00である。そこで、TSによる観測結果から求めた地形勾配、約 1/200 から 10 分間(10:00→9:50、17:00→17:10)の潮位変化分を考慮し、熱画像より求めた水際線を移動させた結果を示す(図-12)。

TS と熱画像、潮位より求めた DL 上 150 cm 等高線はやや異なるが、これは俯角約 40° で観測した熱画像データによる正斜投影の誤差によると考えられる。

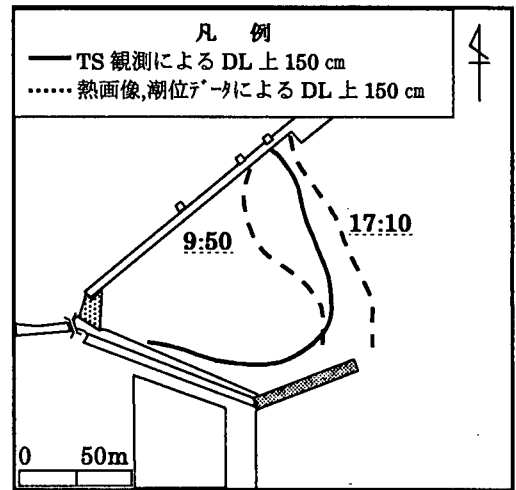


図-12.TS と熱画像、潮位より求めた水際線の比較

## 6. 今後の課題

本研究では、パルスレーザと熱画像を利用した干潟地形観測についてその有効性を考察した。その結果、パルスレーザ、熱画像ともにこれまでの干潟地形観測よりも、観測員の削減されるなど作業の効率化が見込まれる。しかし、水分が残っている部分では、レーザの特性上、欠測となりやすく、今後の課題として挙げられる。また、干潟に対して、より垂直に近く、より高い場所からの観測の方がレーザの反射パルスが大きくなり観測精度も良くなる。そこで、干潟の傾斜に向かう方向(海側)に観測地点を設置することが望ましいと考えられる(図-13)。

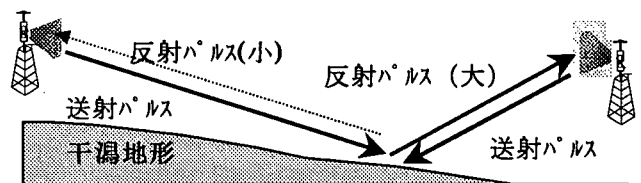


図-13.レーザの送射方向

水際線の観測については、熱画像を利用することで、夜間でも水際線の位置を把握することが可能であることが判った。しかし、その位置をより正確に観測するためには、できるだけ正射に近い角度から観測するとともに、位置特定のための標定点を設置する必要がある。また、データ取得、転送をリモートコントロールすれば、自動観測も可能である。

干潟の保全・創出をより一層、促進するためにも、今後の更なる研究が重要である。

### 参考文献

- 1) 国土交通省港湾局:港湾設計・測量・調査等業務共通仕様書,282p,(社)日本港湾協会,平成13年。
- 2) 保谷忠男:測量叢書,190p,(社)日本測量協会,1993年