

# 航空機搭載型グリーンレーザー計測の実施報告と精度検証

宇野女 草太・宮坂 聡・高橋 弘（中日本航空株式会社）

## 1. はじめに

近年、深淺測量技術は、音響測深によるマルチビーム測深機の飛躍的な発展により、水底地形の3次元情報を面的に取得できるようになった。これにより、従来までの横断的な管理から一歩進み、海岸や港湾、ダム等において、津波シミュレーションや水底地形の変動特性解析等、災害対策に資するデータとして有効活用が図られている。

一方、海岸の汀線測量や河川測量などではマルチビーム測深が利用されることは少なかった。これは、浅い地域でのマルチビーム測深は計測効率が悪いこと、計測時の安全性が確保されにくいこと等が要因として挙げられるが、海岸や河川の土砂移動特性を適切に把握するためには、陸上部と連続した水底部までの詳細かつ面的な3次元情報を取得することが非常に重要なテーマであった。

これに対して、航空機搭載型グリーンレーザー測深技術（以後、「グリーンレーザー計測」と記す。）は、陸上部から水底部までの面的データを効率的に取得できることから、その利用が期待されている。国内では、海上保安庁が唯一グリーンレーザー装置を1機所有し、平成15年から運用<sup>1)</sup>しているが、民間企業や研究機関等ではまだ実施例が少なく、そのデータ品質や河川への適用性等、十分な研究がなされていないのが現状である。

そこで、本稿では、複数のグリーンレーザー装置を航空機に搭載し、海岸及び河川において実施した事例をもとに、取得されたデータの特徴や精度について報告する。

## 2. グリーンレーザーとは

グリーンレーザー装置は、近年陸上の地形計測において広く利用されている航空レーザー装置と同様のシステムであるが、発射するレーザーパルスの波長域が異なっている。地表面を計測するために使用されている近赤外域の波長は、水に吸収されたり、一部水面で反射されたりするためレーザーパルスが水底まで到達せず、水底の地形データを取得できない。一方、グリーンレーザー装置は、緑域の波長のレーザーパルスを使用しているため、その波長特性により水中を透過して水底地形を捉えることができる（図1参照）。このため、従来の音響測深による深淺測量では困難であった沿岸域や水深の浅い河川においても、広範囲を安全かつ効率的に計測でき、陸上部から水底部までの詳細な3次元情報の取得が可能となる。

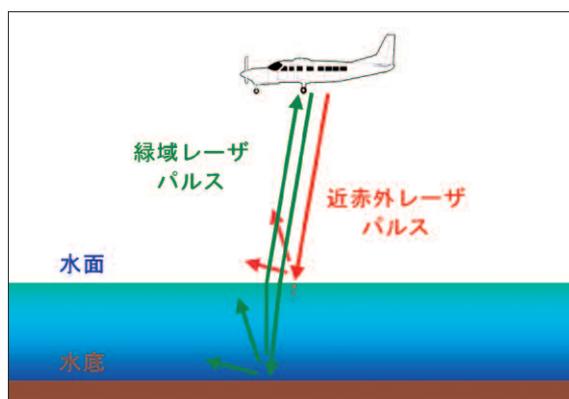


図1 水面におけるレーザーパルスの反射の違い

## 3. 計測対象地域及び計測機器について

本報告における計測対象地域は、三重県にある西南海岸及び雲出川の河口付近である。

使用したグリーンレーザ装置は、比較的深くまで計測可能な LADS Mk3 (Fugro LADS 社製) と、計測可能深度は浅いが高密度にレーザ計測できる VQ-820-G (RIEGL 社製) を使用した。また、デジタルカメラについても同時搭載し、航空写真のデータ取得を行った。各センサの外観写真と機体への搭載状況を図 2～図 4 に、また機材諸元を表 1 に示す。

今回使用した装置は、飛行高度を最大で 3,000feet (約 900m) と従来の装置より高く設

定することができるため、安全を保って運用することが可能であることから、沿岸域まで急峻地形が迫る日本での計測に適している。

#### 4. データ取得結果

グリーンレーザ計測は、平成 24 年 12 月上旬に、飛行高度を約 450m、レーザ点間隔を LADS Mk3 センサは約 4 m、VQ-820-G センサは約 0.5m に設定し実施した。

両センサのデータを合成させた計測結果を



図 2 LADS Mk3 センサ

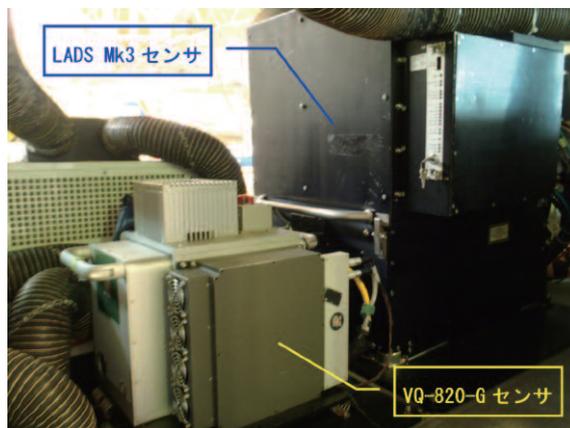


図 4 航空機への機材搭載状況

表 1 各センサの機材諸元

装置名	LADS Mk3	VQ-820-G
メーカー	Fugro LADS	RIEGL
発射パルス波長	532nm (緑域)	532nm (緑域)
計測可能深度	水の透明度の2.5倍 (最大 80m)	水の透明度の 1 倍
スキャン周期	18scans/sec	50~200scans/sec
レーザ発射回数	最大 1.5kHz	最大 520kHz
レーザ照射範囲	最大 42 度	最大 60 度
計測間隔 (レーザ点密度)	可変 (2×2m~8×5m)	通常50cm~1m程度 (計測条件による)
ビーム幅	約 3m (飛行高度に因らず水面で一定)	1mrad (対地 1000m で 1m 幅)
レーザ記録方式	波形記録方式	波形記録方式
レーザ測距精度	15cm	25mm
照射エネルギー	5mJ	0.02mJ
レーザクラス	クラス 4	クラス 3B
陸上地形計測範囲	標高 50m まで	標高 1500m まで (反射率 $\rho \geq 20\%$ ) 標高 2000m まで (反射率 $\rho \geq 60\%$ )
標準飛行高度	360~900m AGL	600m AGL

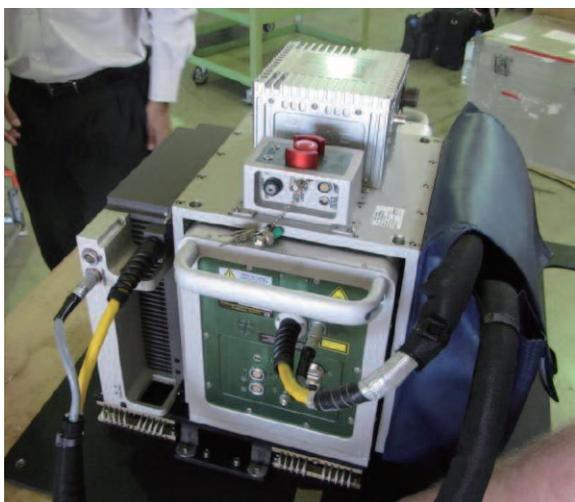


図 3 VQ-820-G センサ

図5～図8に示す。図からも明らかなように、グリーンレーザ計測によって、陸域から沿岸域及び河床の詳細な地形を面的に計測できることが確認された。特に、図7では、橋脚周辺の河床において、従来の横断的な測量手法では把握が困難であった洗掘・堆砂状況（橋脚周囲は洗掘し、径間部や下流側では堆砂している様子）を確認することができた。また、図8では、VQ-820-G センサでは測深深度は浅いが高密度にレーザ点群が取得されていることが、LADS Mk3 センサでは点密度は粗いが水深深くまでデータ取得されていることが確認でき、各センサの特徴を明確に捉えることができた。

なお、測深深度について、LADS Mk3 センサは、測深性能は透明度の2.5倍であり、透明度の高い地域でのテスト計測では30m以深の

海底まで計測されていたが、今回の西南海岸の計測においては、水深約20mが最大であった。一方、VQ-820-G センサは、西南海岸で水深約5m、雲出川で水深約2mまでの水底地形が捉えられていた。ここで、取得深度に相違があるのは、水中の濁度や底質等の違いによるものと考えられる。

## 5. 精度検証

西南海岸において、平成24年5月に計測された実測及びシングルビーム測深機による計測点とグリーンレーザ計測点とを比較した結果、既報<sup>2)</sup>にあるようにグリーンレーザ計測データが全体的に0.32m程度高く出ている傾向が確認された。そのため、処理段階でのキャリブレーション値の見直しを行い、再調整したデータをもとに、改めて精度検証を行っ

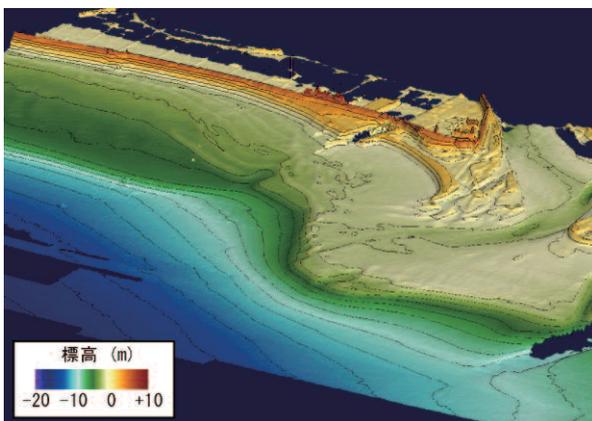


図5 西南海岸における計測結果

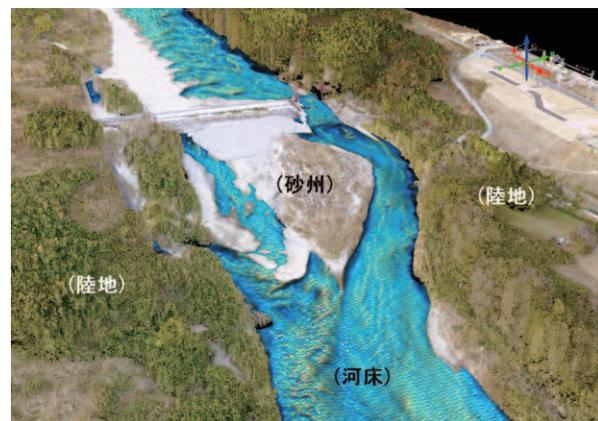


図6 雲出川における計測結果

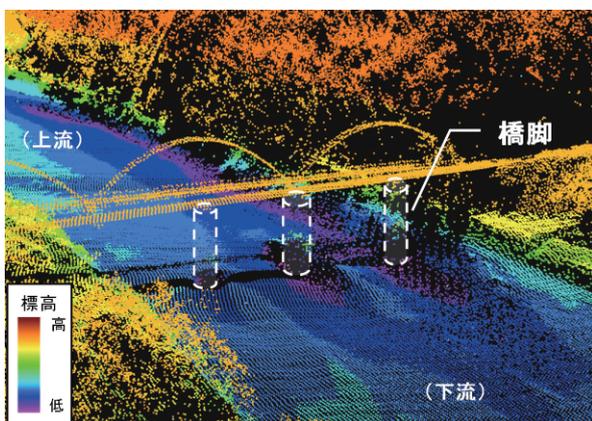


図7 橋脚部における計測結果

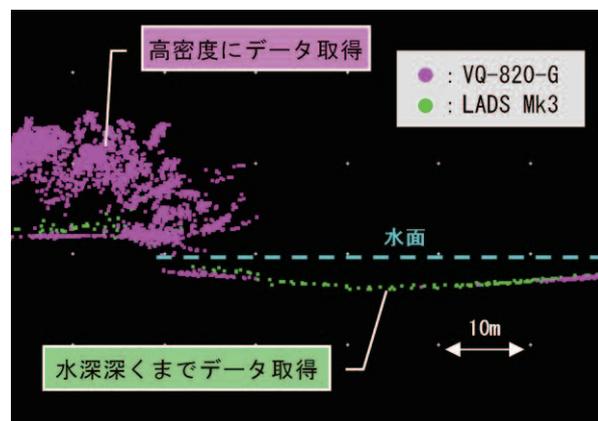


図8 断面図による2つのセンサの点群比較

た。

さらに、平成 24 年 5 月に計測された航空レーザー計測データ（以後、「検証点」と記す。）を使用して、陸部における検証も行った。陸部における検証は、傾斜のない広い範囲において、計測点及び検証点ともに TIN 法（不整三角網モデル）により内挿補間させた標高値の較差を算出した。

その結果、表 2 に示すとおり、高さバイアス (0.32cm) はほとんどなくなり、両センサともに、水部は 0.2m 以内、陸部は 0.1m 以内の精度であることが確認された。この結果は、水部については国際水路機関 (IHO) による国際水路測量基準の等級 1b 基準（一定深度誤差 0.5m）を十分に満たし、陸部については従来の地形計測用（近赤外レーザーパルス）の航空レーザー計測と同等の精度を有していると言える。

しかしながら、水部においてより適切な精度評価を行うためには、同時期に取得された深淺データとの比較が不可欠と考えられ、詳細な検証については今後の課題としたい。

表 2 精度検証結果

計測センサ		LADS Mk3	VQ-820-G
水部	標本数	172309	87961
	較差平均 (m)	0.05	0.02
	RMS 誤差 (m)	0.18	0.16
陸部	標本数	139	13687
	較差平均 (m)	0.05	0.00
	RMS 誤差 (m)	0.09	0.05

$$※RMS 誤差 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n}} \quad (x: \text{測定値}, X: \text{真値}, n: \text{標本数})$$

## 6. まとめ

グリーンレーザー計測による深淺測量を実施し、そのデータ取得状況や測深精度を確認した。その結果、測深深度は透明度にもよるが、LADS Mk3 センサでは水深 20m~30m 程度までの広域な範囲を計測でき、VQ-820-G セン

サでは水深約 5m 程度までであるが水深の浅い箇所を細密に計測できることが分かった。また、取得される測深精度は、両センサともに、水部は 0.2m 以内、陸部は 0.1m 以内と従来計測と遜色のない精度を有することが確認された。

以上より、2つのセンサの特徴が明確化され、河川等への適用を考えた場合、2つのセンサを融合させることで、汀線部の詳細な地形から水深深くまでの広範囲な水底地形構造を、安全かつ効率的に取得できることが確認された。特に、水深の浅い箇所での面的計測は、河川や海岸の動態を把握するうえで重要なテーマであるが、従来手法であるマルチビーム測深では安全性や効率性から困難であることが多く、グリーンレーザー計測による深淺測量が非常に有効な手段となりえることが確認された。

今後は、水中の濁度や底質と計測可能深度との関係、またマルチビーム測深データとの融合などの検討を進めていく予定である。

## ■謝辞

本報告の精度検証において、国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所より深淺測量データを提供していただいた。ここに感謝の意を表します。

## ■参考文献

- 1) 戸澤実、松本良浩、岩本暢之、小野智三、矢島広樹：航空レーザー測深機のテスト飛行について、海洋情報部技報 Vol.22、2004
- 2) 宇野女草太、宮坂聡、高橋弘：航空機搭載型グリーンレーザー測深による深淺測量の実用化に向けて、公益社団法人日本測量協会発行誌 測量（5月号）、pp.16-19、2014

## ■執筆者

---

宇野女 草太 (うのめ そうた)

中日本航空株式会社

調査測量事業本部 空間解析統括

空間解析第2グループ

souta.unome@nnk.co.jp



## (共著者)

宮坂 聡 (みやさか さとし)

中日本航空株式会社 調査測量事業本部 空間解析

統括

miyasaka@nnk.co.jp

高橋 弘 (たかはし ひろむ)

中日本航空株式会社 調査測量事業本部 空間計測

統括 空間計測第3グループ

h\_takahashi@nnk.co.jp