

三次元空間情報技術の利活用と展望

西満幸¹・大塚正幸²・穀田昇一³・中島保⁴・羽山洋一⁴・木下隆史⁴・垣内力⁵

¹フェロー会員 朝日航洋株式会社 空間情報事業本部 (〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山一丁目 18 番 1 号)

²正会員 朝日航洋株式会社 空間情報事業本部 (〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山一丁目 18 番 1 号)

³朝日航洋株式会社 空間情報事業本部 (〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山一丁目 18 番 1 号)

⁴朝日航洋株式会社 地図・コンサルタント事業部 (〒350-1331 埼玉県狭山市新狭山一丁目 18 番 1 号)

⁵朝日航洋株式会社 開発統括部 (〒350-1165 埼玉県川越市南台三丁目 1 番 1 号)

この論文は三次元空間情報の計測技術として最近 10 年間に利用されてきた航空レーザ測量, 航空レーザ測深 (ショールズ), ナローマルチビーム測深および海洋短波レーダ表層海流観測システム (HF レーダ) についてその利活用の現状と展望を述べる.

キーワード: 航空レーザ測量, 航空レーザ測深, ショールズ, ナローマルチビーム測深, 海洋短波レーダ表層海流観測システム, HF レーダー, 河川航空レーザ測量

1. まえがき

(1) 3 次元空間情報技術の革新

空間情報技術の革新は地理情報の電子化など, 土木分野にも大きな変革をもたらしている. 1960 年代から出現した電子計算機, レーザや電荷結合素子 (CCD) などの電子光学, 人工衛星を利用した衛星測位システム (GPS) の出現により空間情報技術は格段の進歩を遂げてきた. さらに, 1990 年代初頭になると東西冷戦の終結により, レーザスキャナ, 3 軸姿勢計測のジャイロ技術 (慣性ナビゲーションシステム: IMU), 高分解能衛星画像などの高度な軍事技術が一気に民用化された. 1985 年頃から GPS がわが国でも測量に使われるようになり, 1990 年代後半には GPS, IMU およびレーザ測距技術を統合化した新しい測量技術として航空レーザ測量が実用化された.

(2) 3 次元空間情報技術の利活用

国土の開発, 利用, 保全および運用を行うために新しい空間情報技術が次々と生まれている. これらの成果は, デジタル情報として電子化され, 調査に利用したり, 地理情報システム (GIS) として住民などへ提供されている. 公共事業の効率化が叫ばれている中, ここでは広範囲の地形情報を早く, 効率良く, しかも安く取得する空間情報技術として, ①航空レーザ測量, ②航空レーザ測深, ③ナローマルチビーム測深および④HF レーダの利活用について述べる.

2. 航空レーザ測量 (地上)

(1) わが国での導入経緯

航空レーザ測量が 1992 年に発明され, 1998 年頃から本格運用されてきた. 航空レーザ測量は本格運用からまだ 10 年も経っていないが, 空中からより **高密度**かつ **高精度** な標高データを **迅速** に取得する手法として, 今日盛んに利用されるようになってきた. 広範囲の三次元標高データを迅速に得ることができるだけではなく, 異時期の計測により, 地形, 地物等の変化を 0.5m~2m メッシュ単位で表現が可能である.

また, 航空写真や正射変換画像 (デジタル・オルソ・フォト) などの計測データと組合せることにより鳥瞰図, 三次元モデル, 防災計画・計画設計のための CAD 基図, 微地形判読, 景観シミュレーションなど, 各種調査, 計画, 設計, 維持管理, 防災計画等に幅広く利用されている.

航空レーザ測量は当初, 測量困難な高圧送電線の近接木調査, 危険が伴う火山調査, 土砂災害調査などに用いられていたが, 最近では河川, 海岸, ダム, 道路, 公園調査などの基図として幅広く利用されている.

(2) 原理と機器構成および数値標高モデル

a) 原理と機器構成

航空レーザ測量は, ①レーザスキャナ, ②航空機 (固定翼または回転翼) の正確な位置を求めるキネマチック

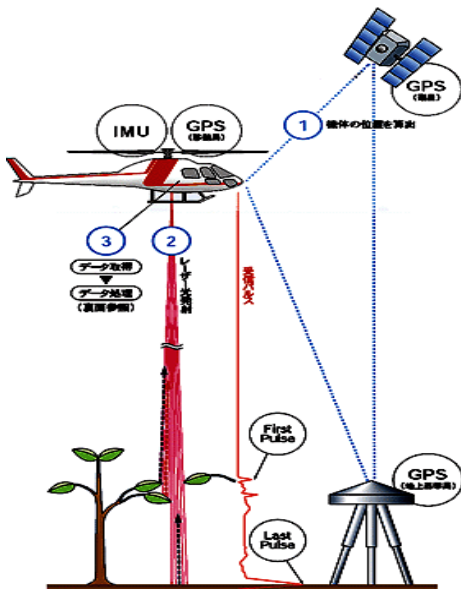


図-1 航空レーザ測定の仕組み

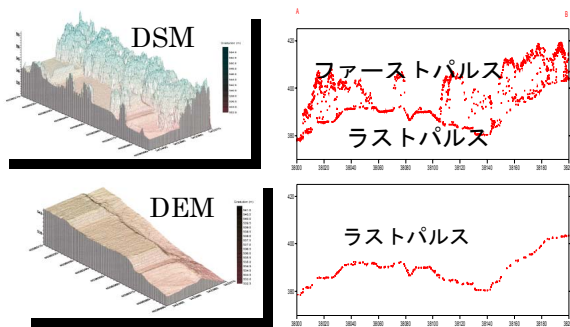


図-2 数値表層モデル(DSM)と数値標高モデル(DEM)

ク(KGPS)と、③ピッチング・ローリング・ヘッディングなど航空機の姿勢と加速度を求める慣性計測装置(IMU)を統合化した測量技術である(図-1)。

なお、レーザの照射パルスは現在、数万～10万Hz/秒が使用されている。

b) 数値標高モデルと数値表層モデル

図-2は航空レーザ計測で得られるデータの例示である。樹木や葉に反射して得られるファーストパルスからDSM(数値表層モデル)ができ、樹間等を縫って地表に到達したラストパルスからDEM(数値標高モデル)が作成できる。

c) 精度

レーザ光波による距離計測精度は使用波長に因り15cm程度(固有)であるが、高さ方向については平坦地であれば、計測点群の平均化効果によりさらに細かい段差の表現が可能である。また、水平方向精度は照射方向角度の計測精度に依存し、対地高度の1/2000程度である。照射光波は指向性が高いため、高度1,000mから照射しても地表での広がり、

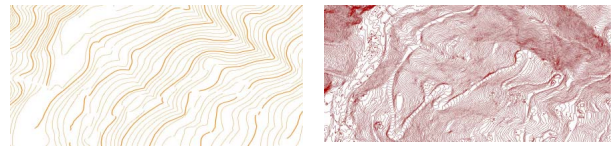


図-3 等高線地形 左：空中写真，右：航空レーザ

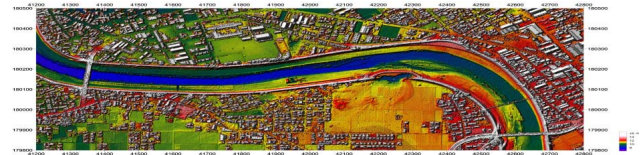


図-4 段彩図例(微地形0.1m単位で表現)

表-1 従来方法との比較(範囲10km²の場合)

比較項目	航空レーザ測量	空中写真図化
長所・短所	■ 樹木を透過して作図することが可能、描かれた等高線で、微地形を反映 ■ 立入が危険な区域でも計測が可能 ■ 短時間で、広範囲を一定精度にて量的把握可能 ■ 構造物・道路等は再加工の必要がある。	■ 樹木下は実体視により等高線で描くため、詳細な地形は表現できない。 ■ 立入が危険な区域は調査不可能 ■ 構造物・道路等が正確に表現可能。
工期	70日(素図は即日可)	120日

直径20～50cmにすぎず、50cm以下の間隔で計測することができる。逆に、作業性・経済性を重視して高高度・高速度で計測する場合、地上測点間隔に隙間が生ずることは避けられない。

図-3は山間部の計測例であるが、地表面から反射点(ラストパルス)データから得られた数値標高モデルでは、空中写真による地形図では見えていなかった道路が明瞭に見えており、地形の再現性の高いことがわかる。

(3) 利活用

a) 数値標高モデルと数値表層モデルの利用

航空レーザ測量の利活用はDEMモデルを用いた利用が多い。一方、DSMを用いることにより建造物の標高や植生の樹高等に活用できる。

航空レーザ測量と空中写真図化を比較すると表-1の通りである(縮尺S=1/2,500程度を想定)。

b) 正射変換画像との組合せや断彩図・陰陽図の利用

3次元の画像表現をより効果的にするため正射変換画像との組合せや、形状を立体表現し地形変化を強調するため段彩図や陰陽図が用いられる。

表-2 航空レーザの利活用（河川・海岸・ダム・電力）

用 途		内 容
調 査	基図	河川基盤図，河川環境情報図
	流下能力	河川縦横断
	氾濫解析：図-5	氾濫シミュレーション
	河床変動：図-6	複数時期の比較
	ハザードマップ	微地形分類による避難計画
	河道内樹木水理	DSM 利用（樹木水理影響）
	積雪	積雪深
	植生	樹木の生育状況
	津波・高潮	シミュレーション
	海岸	汀線移動（堆積・浸食）
計 画	河道	堤防補強，輪中堤，宅地嵩上
	ダム：図-7	施設計画，利水容量
管 理	台帳	河川，海岸，ダム
	近接木：図-8	高圧線
PI	3D 表示：図-9	地形データ+画像→鳥瞰図
	アニメーション	シミュレーション結果表示

表-3 航空レーザの利活用（砂防・火山）

用 途		内 容
調 査	土石流・地すべり：図-12	河床変動，崩壊地解析
	斜面防災，災害 ：図-10～12	詳細微地形分類，防災カル テの基図，落石解析
	火山：図-11	降灰厚，隆起・沈下把握
	積雪	雪崩
計 画	砂防	三次元地形図利用
	避難	三次元地形図利用
管 理	土砂堆砂	堰堤堆積状況
	植生	樹木の生育状況

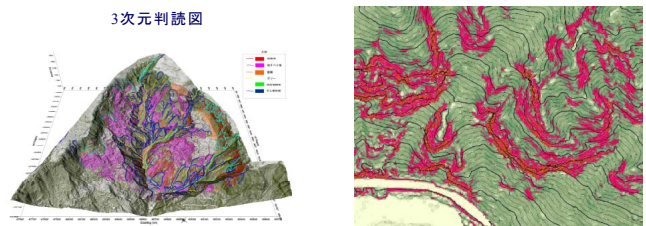


図-10 微地形（左：判読図， 右：落石危険箇所）

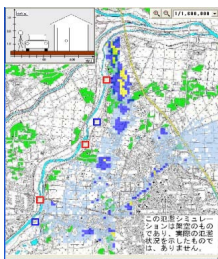


図-5 氾濫解析

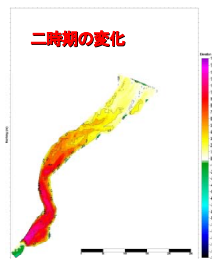


図-6 土砂変動量



図-11 左：荒廃特性， 右：3次元ビューアー

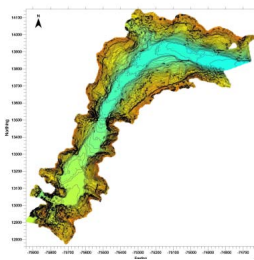


図-7 貯水池（H-V）

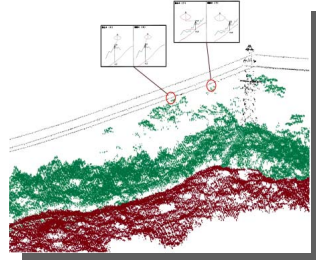


図-8 近接木調査



図-9 正射変換画像との組合せ例（三次元表示）

(4) 河川・海岸・ダム・電力における利活用

航空レーザ測量は広い地域の高精度地形データを迅速にデジタル情報として取得することが出来る。

このため，河川・海岸・ダム・電力に広く利用されるようになってきた。利活用は河道や氾濫原及び海岸などの詳細な地形把握を行い，縦横断の作成，各種調査，シミュレーションや住民説明用の 3D の基図として用いられている。また，複数時期の測量結果を比較することにより河道や流域の変動量が容易に把握できる（表-2）。

(5) 砂防・火山における利活用

砂防地域は山間部の急峻な地形が多く，従来の空中写真や実測による測量では精度の良い地形情報を得ることが困難である。測量経費，工期的にも不利である。また，火山はその活動中の実測は安全性の面から実質的に不可能である。航空レーザ測量はリモートセンシングであるので，実測で困難な地域の測量も可能であり，航空レーザ測量が最初に利用されたのが砂防や火山の分野である（表-3）。

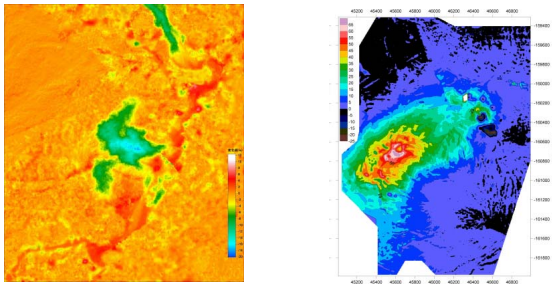


図-12 変動量（左：地すべり， 右：火山噴火）

表-4 航空レーザの利活用（道路・鉄道）

用 途		内 容
調 査	斜面防災 図-14	防災地形図精密調査，雪崩
	斜面危険箇所抽出	傾斜，走向，鉄道林
計 画	路線計画 図-13	3次元道路設計
	シミュレーション 図-14	景観，走行（昼夜間・トンネル内）
	斜面防災計画	対策工
設 計	設計	CAD 基図
	植栽設計	季節変化，数年後
	出来高管理	土工
管 理	台帳	道路・鉄道 GIS電子化
	維持点検	空中ハイビジョン併用



図-13 計画支援（ルート比較）と3次元鳥瞰図



図-14 左：景観シミュレータ， 右：道路防災

(6) 道路

道路分野では現地測量が困難な斜面防災調査の基図や路線設計などに利用されている。特に，路線の比較設計など最適ルート選定に当って複数の比較案の検討が必要なケースの基図として有効である。また，景観や走行シミュレーションなどの基図としても利用されている（表-4）。

(7) 環境・公園・施工その他

環境基盤情報図などの基図，微地形調査に基づく自然再生・ミティゲーションなどに利用されている（表-5）。

表-5 航空レーザの利活用（環境・公園・施工他）

用 途		内 容
調 査	植生・微地形	基図，樹高
	環境基盤情報	微地形，植生(樹高)基図
	連続性調査	河川，小水路
	騒音	シミュレーション
	家屋	固定資産，地震の家屋倒壊
計 画 他	自然再生・ミティゲーション・公園 図-15	ハビタットポテンシャル，適地選定
	出来高管理 図-17	土工，最終処分場埋立

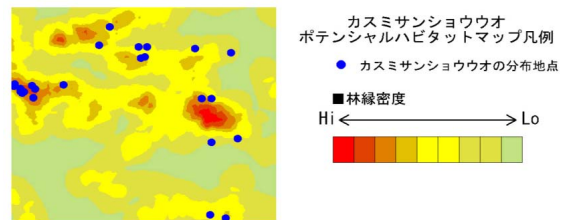


図-15 ハビタットポテンシャル(微地形，環境省 HP)

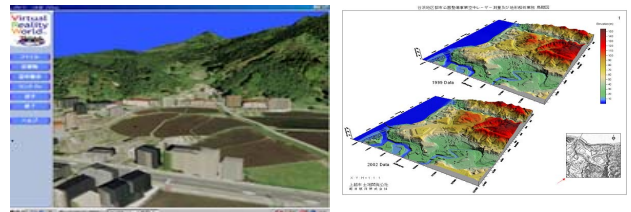


図-16 3次元テクスチャマップ 図-17 土工管理図

(8) 展望

空中レーザによる地形計測は従来の地上測量に新しい概念をもたらした。リモートセンシング方式による三次元地形モデルを再現する計測手法は，公共測量基準要綱に測量の一分野として認知されることが望まれる。新しい技術は，二時期の変化の定量的把握を容易にしたが，信頼性の向上のためには，欠測点の分布に関する評価等が不可欠である。今後，新しい利用目的にかなう成果を保証するために，計測手法や成果品における統一された標準規格作りを急ぐ必要がある。

空中レーザ以外のリモートセンシング技術として，地上分解能の向上した人工衛星搭載の各種センサーや，小型化による無人ヘリコプター搭載の機器の利用も考えられており，利用目的と経済性，信頼性等を考慮して，これらの新技術を使い分けることが必要であろう。

3. 航空レーザ測深

(1) わが国での導入経緯

水深を測定する方法は、レッド測深（錘に索をつけて直接深さを測る方法）、音響測深機を使用した方法及び航空機によるレーザ測深機を使用する方法などがある。音響測深機を使用した測深方法で最近よく使われているナローマルチビーム測深については次節で詳述するので、ここでは最近わが国でも利用されてきた航空機によるレーザ測深機を使用する方法について述べる。

航空レーザ測深は先に述べた航空レーザ測量(地上)の近赤外線と水中を透過するグリーンレーザの両方を利用するものである。

この両方のレーザを利用することにより陸域と水中の両方の測量が可能である。

航空レーザ測深は1980年代に研究開発が開始され、1980年代からアメリカ、カナダやオーストラリアで実用化されてきた。測量船で測深を行うことの困難な岩礁やサンゴ礁等の多い海域（グレートバリアリーフ等）で行われている。

わが国では、2003年に海上保安庁に装置（SHOALS）が納入され、同年8月より試験運用が開始されている。

(2) 原理と機器構成

a) 原理

測深は航空機から発射された水面で反射する近赤外線による海面までの距離と、水中を透過し海底から反射するグリーンレーザの距離との差を測定することによって測深する。

b) 機器の構成

機器構成は、先の地上航空レーザ測量機能にグリーンレーザ送受信機能を付加したものである。すなわち、KGPSと航空機の姿勢と加速度を求める慣性計測装置（IMU）は地上用と同様であるがレーザスキャナ部分が2種類必要で、かつ双方の送信波の同期を取って到達受信波の時間差を測定することから非常にセンシティブで複雑な測定装置になっている。このため機器の重量は150kg、容積は1m³程度になり大型の回転翼機または固定翼の機材が必要となる。現在、海上保安庁のレーザ機器の近赤外線レーザパルスは波長1064nm、グリーンレーザパルスは近赤外線の半分の波長532nmが利用されている。

c) 測深の可能水深

測深可能深度は0～40mである。実際の可能深度は対象とする水中の透明度によって制約があり、透明度

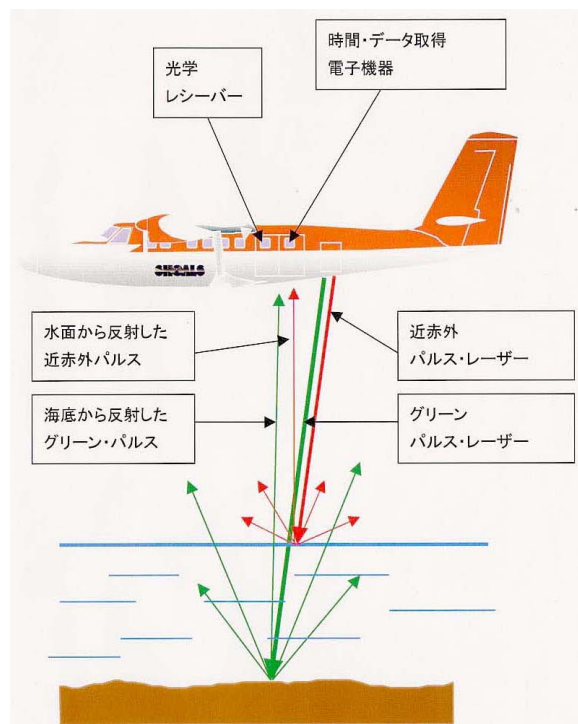


図-18 航空レーザ測深の仕組み

表-6 航空レーザ測深の利活用

用 途		内 容
調 査	深浅測量：図-19	海図、深浅図
	探査：図-20	機雷、潜水艦
	障害物の探知	沈船、沈コンテナ等
	汀線調査：図-20	漂砂移動量
	津波・高潮	シミュレーション基図
	環境	透明度

の2倍程度的水深までが限度とされている。わが国の内湾では数メートルから十数メートル程度である。

SHOALS(1000 パルス/秒 16 スキャン/秒)の場合、高度600m、速力120Ktでは70m～250m幅で帯状に（グリッド間隔2～5mの）水深値を得ることができる。

(3) 利活用

現在、SHOALSは固定翼を使用し測量船で測深を行うことの困難な干潟周辺や岩礁、サンゴ礁等の多い海域を対象とした水深測量、沈船等の調査に利用されている。航空レーザによる測深は1日に約25km²範囲程度の測深が可能である。対象水深にもよるが水深5m程度では、ナローマルチビーム測量3日分の海域が航空レーザ測深では30分程度で実施できる。つまり、ナローマルチビームはその原理から水深が浅くなればなるほど測深幅が狭まるので、水深が浅いほど、航空レーザ測深の測量効率は良くなる。

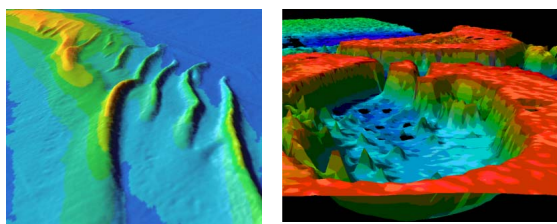


図-19 左：サンドウェーブ， 右：海底鳥瞰図

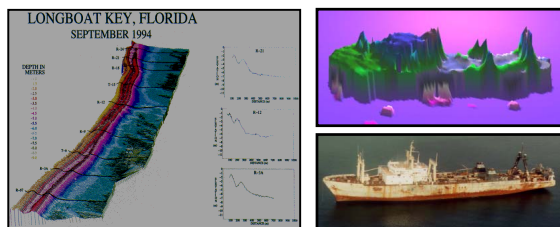


図-20 左：汀線変化図， 右：沈船・引揚前後

(4) 展望

今後、この特長を生かして、河川の流路調査（河床形状）や侵食海岸調査等の深淺測量のみならず水質濁度調査等の環境保全への活用も考えられる。河川上流のダム湖や複雑な海岸線及び山麓が海岸にせり出している海域付近では、固定翼による飛行は危険が伴い、速力の調整も限られることから回転翼を使用する必要がある。また、欠点として豪雨等による災害時の調査には河川水の濁りで測深が出来なくなることを考慮しておく必要がある。

4. ナローマルチビーム測深

(1) わが国での導入経緯

ナローマルチビーム測深は効率的、高精度かつ幅広測深（スワス測深）が可能な音響測深方法である。ナローマルチ測深機が出現する 1995 年頃以前は、シングルビームや多素子音響測深機（4 素子）によって測深作業が行われていた。シングルビーム測深器は、1 個の送受信器で直下水深を連続な線で測深する方法であるので、面的に測深する場合は膨大な測深距離となり非効率である。多素子音響測深器（4 素子）は 1 台の測深記録器と複数の送受信器を用い、測量船の左右舷の直下と、左右舷から斜め外側方向の測深（斜側）を同時に行う方法で船幅＋ α で帯状に測深する。これらはいずれも広範囲の測深の場合は非効率となる。近年、音波の先鋭なビームによる分解能を高めたナローマルチビーム測深機器の出現により、広域な範囲の測深を面的に効率的に実施できるようになってきた。

(2) 原理と機器構成

ナローマルチビーム音響測深機による測深は、船の左右方向に扇状の音響ビームを発信し、水底から反射してくる音波を指向性の異なる多数の受波器で受信

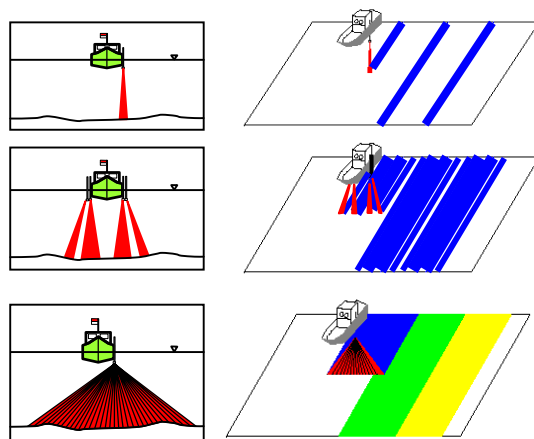


図-21 音響測深の方法（シングルビーム・多素子（4 素子）・ナローマルチビーム（上／中／下））

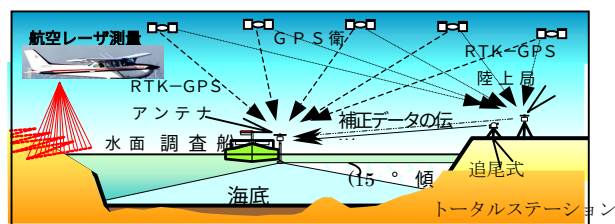


図-22 ナローマルチ測深の仕組み

することにより、幅広い範囲を一度に測深できる方法である。

スワス幅は 90 から 150 度（水深の 2～7 倍）で、1 本のビーム幅は 1.5 度 x 1.5 度（1x0.5 度のものもある）と鋭く、詳細な海底地形を面的に測深するので海底地形を効率良く測定することができる。

測深データは全てデジタル処理されるため高密度の海底三次元データが取得でき、コンピュータによる各種の資料整理が可能である。

ただし、ナローマルチビーム測深は位置情報とともに船の方位やローリング・ピッチングなどの動揺補正データを収録する必要がある。シングルビームや多素子音響測深に比べ艤装に時間がかかるとともに、艤装のたびにキャリブレーション作業（パッチテストとも云う）が必要である。

(3) 利活用

ナローマルチビーム測深手法は、その特長を生かし、近年、海洋、海岸、港湾、河川、ダム湖及び湖沼の深淺測量として良く用いられている。

計測可能水深は使用する音波の周波数によって 10,000m 程度（12kHz）まで可能である。一般的には 100～200kHz 程度のものが多く利用されており、この場合の計測可能水深は 300～400m といわれている。計測可能な最小水深は 3m 程度であるので、これより浅い水深の場合は 1～3m までソナーヘッドを 15° 傾けたナローマルチビーム測深、水際から水深

表-7 ナローマルチビーム測深の利活用

用 途		内 容
調査 計 画 設 計	海岸・海洋・港湾・河川・湖沼・ダム湖 図-23	深浅測量, 定期縦横断測量
	海図	海図作成
	河川航行情報図	河川航行情報図作成
	貯水池	堆積および利水容量把握

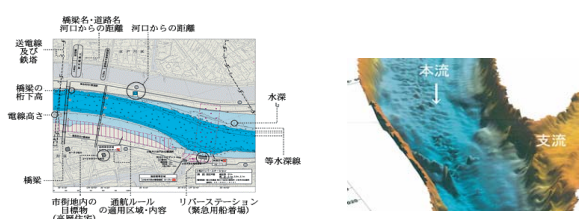


図-23 河川航行情報図 (国交省荒川 HP), 深浅鳥瞰図

1mまでは標尺, レッド測深や水準測量によっている。
また, 海岸やダム湖などの場合のように水位が変動するような場合は航空レーザ測量との併用により効率的な地形情報の取得に努めている。

(4) 展望

最近の 6mm の高分解能 (455 k Hz, 0.5°) を有するナローマルチビーム測深機も出現しており, より詳細な海底地形はもちろん水面下の性は消波ブロック配置を鮮明に捉えることができる。また, その周波数特性を生かして, 藻場の分布状況も把握できるようになっている。潜水艇に装備して数千mの海底の状況も詳細に捉えることが可能で, 海底地殻変動調査等にも利用されており, 今後その用途はますます広がるものと考えられる。

5. 海洋短波レーダ表層海流観測システム

(1) わが国での導入経緯

海洋レーダ表層海流観測システム (以下 HF レーダ) は, 海に計器を設置せずに表層の海流が観測できる画期的な観測システムである。

HF レーダのエコー観測は, 第2次大戦中にドイツの侵略に備えるために英国海岸で始められた。この観測されたエコーの中に飛行機や船舶のエコーと混同するエコーが常にある, その実体が不明であったが, 1955 年 Crombie によって海洋波に共鳴したブラッグ散乱に寄ることが発見され, このエコーを観測することによって海象情報が抽出できる可能性があることが判明し, 1968 年に後述の C 社の創業者でもある Barrick 博士が HF 帯のブラッグ共鳴散乱波から流



図-24 左: 観測イメージ, 右: リモート局 (九大 HP)

況のモニタリングを行う基礎機論を確立した。国内では 1987 年に郵政省通信総合研究所が沖縄で国産第 1 号の HF レーダを開発している。HF レーダは, その使用目的に応じて, 長距離用 5MHz~13MHz 帯: 最大測定距離 200~70Km, 中長距離用 25MHz 帯: 同 40Km, 短距離用: 42MHz 帯 (VHF 帯): 同 17Km がある。現在, 日本では多様な周波数の HF レーダが国の機関や大学により十数カ所で運用され HP でも公開されているが, ここでは, 移動型として 2004 年 9 月にわが国で始めて電波法の使用認可の免許が取得されたユニークな 42MHz 帯の VHF レーダを紹介する。

(2) 原理と機器構成

HF レーダの観測方式には大きく分けて, 各方向別に時間差をおいて指向性の鋭い電波を発射/受信するフェーズドアレイ (FA) 方式と一度に全方向に電波を発射し 3 次元方向性アンテナからの受信波を解析して受信波の方向を特定するダイレクトファインディング (DA) 方式がある。前者は比較的信号処理が容易だが方向毎アンテナを必要としシステムが大型になるのに比べ, 後者は信号処理に複雑なアルゴリズムを必要とするがシステムが小型で広い設置場所を必要としない特徴がある。ここで紹介する VHF システム (42MHz) は, 世界中に 100 セット以上展開されている HF レーダの 80% 以上のシェアを占めるアメリカ C 社が長年にわたる研究により後者の DF 方式で開発したもので, 海岸に接している 2 箇所以上の場所に設置して観測を行うリモート局 (送受信アンテナ局) と伝送された観測されたデータを解析する中央局で構成される。各リモート局は, 海面に短波周波数帯のレーダ電波を照射し, 海面に反射して戻ってきた後方散乱波 (ブラック共鳴散乱波) を受信する。送信した電波と受信した電波の周波数のずれ (ドップラー効果) を DF 方式で解析することにより, 流向・流速データ, ドップラースペクトルデータを作成する。リモート局で作成されたデータは, 予め指定した間隔で自動的に電話回線を通して中央局に転送を行い, 最終的な解析を行った上で二次元の流速ベクトルとして記録・表示する。

表-8 HF レーダの利活用

用 途		内 容
調 査	海象観測：図-25	沿岸域、安全航行支援
	漁業	養殖、効率的操業支援
	汚染水・油・海上散乱物：図-26	拡散等シミュレーション
	流水	水産
	生態研究	海洋生物生態研究
防 災 他	救難・捜索：図-26	遭難シミュレーション
	漂流ごみ把握	漂流ごみ回収
	港湾設計	海岸保全施設の計画・設計
	建設作業	安全・効率的な海上作業

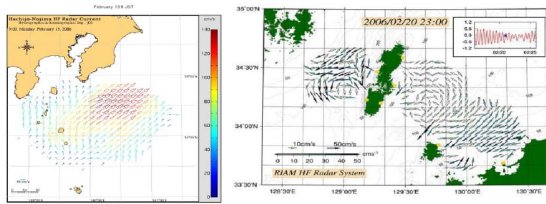


図-25 海況（左・海上保安庁 HP、右・九大 HP）

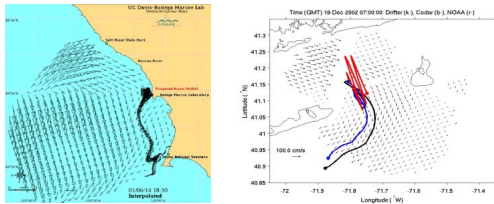


図-26 シミュレーション例（左排水・右漂流者）

この移動式 VHF レーダの特徴として、リモート局から見通しがきく半径 17Km 範囲の海域で、距離分解能 500m で流況データを取得できる。システムは小型軽量でワゴン車等により容易に運搬できる。

(3) 利活用

この VHF レーダで使用している DF 方式では、GPS 時刻信号と同期を取って電波の送受信間隔を多重化する特許を有しており、同一周波数でリモート局を 20 局まで制御できる（共有できる）優位性がある。

このため、表に示すような分野で有限性のある電波を最大限活用して調査目的に沿ったシステム展開が可能である。この VHF レーダは前述の C 社が開発した多様な HF レーダの中でも内湾や潮流成分が卓越した限定された海域の観測に適したもので、固定型としても使用できる（三河湾で運用中）が、そのコンパクトなシステム形状とポータビリティを生かして移動型として、2 リモート局から半径 17Km で相互の広角が 20° ～160° になる海域での 15 昼夜観測、31 昼夜観測を効率的に行うことができる。

(4) 展望

HF レーダの技術は、まだ多くの課題を抱えている。流況観測に関しては非常に実用性が高くなっているが、複雑な強潮流域の観測や狭い範囲で起こる離岸流の観測には 500m 分解能（現在の電波の掃引幅 300KHz、500KHz なら 300m の分解能）での平均流算出ではユーザのニーズに十分に対応し切れていない。

また、外洋での有意義波の波浪観測には成功しているが周波数による波高抽出の限界もありまだまだ課題が多い。シップディテクションプログラム（船舶からの反射波検出）も研究段階から実用になりつつある。

これらの技術開発が進むと HF レーダーが日本沿岸全域をカバーし、国民に情報提供できる日もそう遠いことではないかもしれない。

6. あとがき

ここでは、広範囲の地形情報を早く、効率良く、しかも安く取得できる 4 つの空間情報技術の建設事業への利活用事例を紹介した。リモートセンシング技術としてはこのほか、衛星からの高分解衛星画像、地上型レーザスキャナなどがある。今後、社会資本は、質の高いものを安く、早くしかも住民への十分な説明責任を果たした整備が求められる。今後、これらの要請に応えるためには、色々な空間情報技術を利用目的に応じて経済性、信頼性などを十分考慮した上で、最も有効な方法を選択し活用していくことが求められる。

参考文献

- 1) 斉藤和也ほか：図解航空レーザ航空レーザ測量ハンドブック，日本測量調査技術協会，2004.
- 2) 村井俊治：測量工学ハンドブック，朝倉書店，2005.
- 3) 大塚正幸ほか：空中レーザ計測を用いたモニタリング技術の土木分野における活用，土木建設技術シンポジウム，土木学会，pp. 273～278，2004
- 4) 大塚正幸ほか：空中レーザ計測による高密度三次元地形情報活用の現状と課題，土木情報利用技術講演集 Vol. 30，pp. 5～8，2005
- 5) 小林浩ほか：災害時の即時地上情報の取得と保存における航空レーザ計測の役割，地球惑星科学学会 2005 年合同大会予稿集
- 6) 下井田実ほか：砂防調査における航空レーザ測量の可能性，「測量」テクニカルレポート，2001
- 7) 穀田昇一：沿岸調査に新手法の導入—航空レーザ測深（1）～（3），水路，2001
- 8) Optec：SHOALS ユーザーマニュアル，2003
- 9) Corder：ユーザーマニュアル，2004