

■11 群 (社会情報システム) -2 編 (電子航法・ナビゲーションシステム)

2 章 海洋システム

(執筆者：福島荘之介) [2011 年 4 月 受領]

■概要■

本章では海洋システムナビゲーションシステムとして、船舶のナビゲーション、船舶の監視システムについて述べる。船舶のナビゲーションは、天文・地文航法に始まり、現在では人工衛星を用いた GPS (全世界測位衛星システム) の普及がめざましい。また、旧来から存在するロラン C も利用されており、米国ではその近代化も議論されている。船舶の監視システムとしては、レーダが有効で普及率も高い。船舶の位置情報を送信する AIS は、近年大型船舶への装備が義務づけられた。このほか、本章ではナビゲーションを応用した海上交通管理システムとして、最適ルート選択や VTS (船舶交通管理システム) について述べる。更には、海洋環境でナビゲーションの応用例として、GPS 津波計などについて述べる。

【本章の構成】

本書では、2-1 節として船舶のナビゲーションを、2-2 節として船舶の監視システムを、2-3 節として海上交通管理システム、2-4 節 海洋環境でのナビゲーションの応用として GPS 津波計、海洋建設のリアルタイム・キネマティック GPS、自動制御位置保持装置 (DPS)、GPS 姿勢計測装置をそれぞれ解説する。

■11 群-2 編-2 章

2-1 船舶のナビゲーション

2-1-1 船舶の地文航法・天文航法

(執筆著：今津隼馬) [2008年5月 受領]

船舶での航法(Navigation)とは、船舶をある地点から他の地点まで導くための方法である。船舶の移動で地球表面上に描かれる線分には、次のような線分がある(図2・1参照)。

- (a) **航程線**: 船舶が針路一定で航走した場合に描かれる線分。各地の子午線との交角が一定。
- (b) **大圏**: 球表面にある2地点を最短の距離となるように結ぶ線分。大洋を横断する場合に使われる。

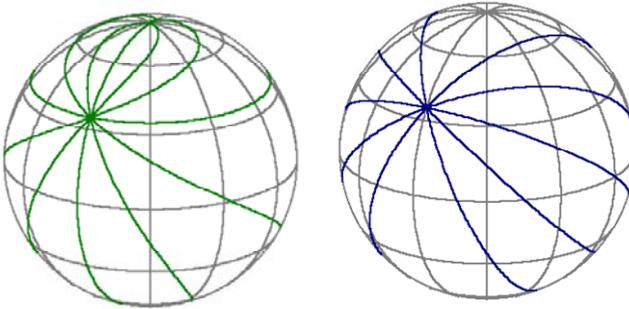


図2・1 緯度35Nの地点を通る航程線と大圏

しかし、船舶はこの線(航路)上を正確にたどることはできず、風や波浪による外力の影響を受け航路から外れる。船舶を次の地点に導くには、周期的に正確な位置を求め、それに基づいて航路を修正しなければならない。このように船舶を導く方法として、最初に開発された方法は地物を利用する航法(地文航法)であり、その後、大洋を航行するために、天体を利用する航法(天文航法)が開発された。

(1) 地文航法

地文航法(Terrestrial Navigation)とは、地物を利用して、船舶の位置を確認しながら、その船舶を目的とする地点まで導く方法である。利用できる地物の条件は、位置が判明していることと、識別が容易にできることである。このような地物としては、海図に記載された顕著な地物、例えば山頂、岬の先端、灯台などがよく利用される。こうした地物と船舶との位置関係を知るためには測定が必要であり、次のような要素を測定している。

- (a) **方位**: 地物の方位をコンパスにより測定すれば、船舶はその地物をその方位に見る線分(等方位曲線)上にある。
- (b) **距離**: 地物までの水平距離を測定すれば、船舶はその地物を中心とし、そこからの距離が測定値となる円弧上にある。
- (c) **重視**: 二つの地物が同一方向に重なって見える。船舶はこの二つの地物を直線で結ぶ線分上にある。これには特別な測定器を必要としないので、沿岸航行中などによく使われる。

天体は、地球を中心とした半径無限大とする仮想球（天球）の表面に位置付けて考える。天球中心では地球が回転するが、天球上の恒星の位置はほぼ固定と考えることができる。しかし、太陽は1年をかけて天球上の位置を移動する（黄道）。この黄道と、天球上の赤道とが交差する点を、それぞれ春分点、秋分点と呼んでいる（図2・4）。

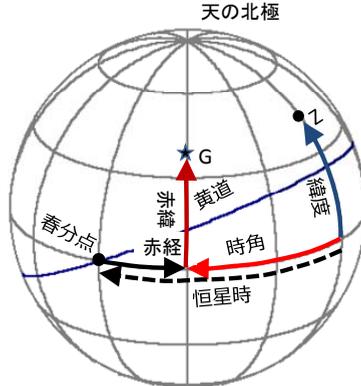


図2・4 天体と測者の位置関係

星の天球上における位置は、天の赤道からの角度（赤緯， d : declination）と、春分点からの角度（赤経， $R.A$: Right Ascension）で表す。ある天体（図2・3，図2・4のG点）が、ある時刻に、船舶（図のZ点）から見てどこに位置するかは、緯度と赤緯それに時角 h （図2・4参照）で表すことができる。この時角は、経度と赤経の関係による値である。春分点がその地の子午線を通過してからの経過は恒星時（Sidereal Time ; Sid.T）であり、私たちが使用している時間は、赤道上を等速で進むとする仮想の太陽（平均太陽）を基準とした時間（平時 ; M.T : Mean Solar Time）である。

あるときの平均太陽の赤経を $R.A.M.S$ とすると、ある天体（G）の時角は、次の式で求めることができる。

$$h = M.T + R.A.M.S - R.A - 12$$

このうち $R.A.M.S$ と各天体の $R.A$ との関係は天測暦（Nautical Almanac）から知ることができるので、観測時の $M.T$ が分かれば、そのときの天体の地球上における位置（赤緯，時角）を知ることができる。天体と船舶の関係で観測できるのは、天体の方位と高度である。観測した高度（観測高度）を補正することで真高度（ a_t ）を求めることができる。その一方で、推測位置を基にその天体の高度を計算（計算高度 : a_c ）することができる。この真高度と計算高度の値が異なるのは、観測した位置が、推測位置と異なるためであるとすれば、次の観測方程式が成立する。

$$\frac{\partial a_c}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial a_c}{\partial \lambda} \Delta \lambda = a_t - a_c$$

ここで、 $\Delta \varphi$ は観測位置と推測位置の緯度の差であり、 $\Delta \lambda$ は経度の差である。二つ以上の天体を観測すれば、この差は作図か計算によって求めることができる。

2-1-2 船舶用の GPS 及び DGPS

(執筆: 安田明生) [2009年2月 受領]

(1) GPS

GPS は 2009 年 1 月現在, 31 機で運用されている。船舶用 GPS は遮蔽がなく上空が開けた洋上で用いることが多く, 上空を飛行するすべての GPS 衛星からの信号を用いることができるので, 常に 10 機程度以上からの GPS 信号を用いて測位をすることができる。そこでは陸上用に見られるように高感度受信が要求されることはない。

アンテナは直径 10~15 cm 程度の右旋円偏波用のパッチアンテナやマイクロストリップアンテナが用いられる。また, アンテナサイズに大きな制限はない。マルチパス波は主に海面で反射した左旋円偏波なので影響は限られる。通常は遮蔽の少ない上部甲板の手すりやマストの腕木部分に取り付けられる。

受信・表示装置は一般に船舶は重量, サイズ, 電源供給などの制限が少ないので, GPS 受信機の出力は RADAR 出力とともに ECDIS, ARPA などの大型の航海支援装置上に海図などとともに表示され, 航海の安全に供されている。また, AIS にも必須の装置である。漁船用には魚影探知機と組み合わせ, そのディスプレイ上に船位を表示するものもある。

表 2・1 に GPS システムの緒元を示す。

表 2・1 GPS システムの主要緒元¹⁾

衛星機数	24 機 (4 機×6 軌道面)
衛星設計寿命	7.5 年
軌道半径	26561 km (円軌道)
周回周期	12 恒星時間 (約 11 時間 58 分 2 秒)
軌道傾斜角	55°
搬送波周波数	L1 = 1575.42 MHz (10.23 MHz×154) L2 = 1227.6 MHz (10.23 MHz×120)
測距信号	C/A code (1023 chip) : L1 波で送信, 民生用に解放 P(Y) code : L1, L2 で送信, 非公開
地上受信電力 (仰角 5°以上)	L1 : C/A code > -160 dBW, P code > -163 dBW L2 : P code > -166 dBW

表 2・2 GPS 受信機の仕様例

測 位	パラレル 12 チャンネル
受信周波数	1575.42 MHz (L1 帯)
受信感度	-130 dBm
受信コード	C/A コード
測位精度	GPS 単独測位 : 約 15 m, 2 drms (HDOP < 4) DGPS 測位 : 約 5 m, 2 drms (HDOP < 4)
アンテナ	直径 10~15 cm, 右旋円偏波用パッチアンテナ

表 2・2 に代表的な GPS 受信機の仕様を示す。GPS 単独測位は HDOP が 4 以下での値として測位誤差が約 15 m (2 drms) となっているが, 上空が開けた海上では HDOP が 1 に近い値

であることが多いので、誤差は 5 m 以下といっても差し支えない。2 drms は真位置を中心としておおむね 95 % の測位点が入る円の半径である。

(2) DGPS (ディファレンシャル GPS)

船舶に搭載される GPS 受信機には、狭水路、港湾内及び大洋を航行するなど様々な運行形態があり、高い信頼性と測位精度が要求される。これらの要求に応えるため、GPS を補強するディファレンシャル GPS (DGPS) システムを利用し、高信頼化、高精度化を図っている。

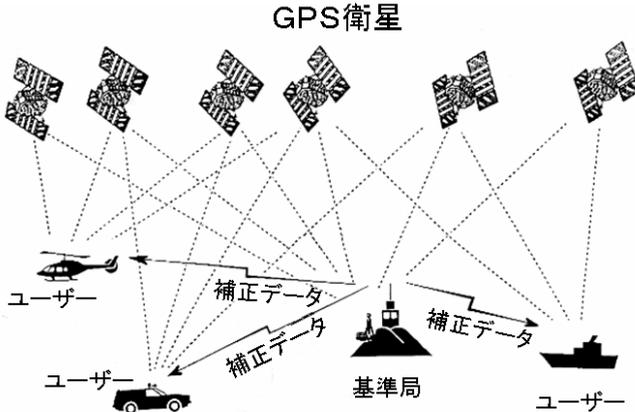


図 2・5 ディファレンシャル GPS (DGPS) の要素

DGPS システムとは、図 2・5 に示すように正確な位置が既知の基準局において実距離が既知の GPS 衛星までの距離を GPS 信号から測定し、その差から誤差を決定し、補正値を何らかの手段でユーザーに送信する。ユーザーは受信点での擬似距離に補正を施し、測位精度の向上を得られるシステムである。日本沿岸には海上保安庁により船舶用に中波無線標識（中波ラジオビーコン）が配備されていたが、1999 年 4 月からそのとき新たに開局した 4 局を含め、全国 27 局の中波ビーコン局からビーコン信号に重畳して DGPS 補正データ放送が開始された。しかしながら、1999 年の GMDSS 完全施行により、船舶は中波の聴取義務がなくなったので、2007 年からは DGPS 補正データのみの放送となって現在に至っている。

図 2・6 に日本沿岸の DGPS 補正データ送信局の配置を示す。利用周波数は中波の 288 kHz ~ 321 kHz、この範囲で最大 7 kHz 間隔で、9 とおりの周波数が各局に割り当てられている。同じ周波数が地理的に離れた最大 4 局に割り当てられているが、中波のため夜間では空間波による干渉が見られる。信号形式は MSK で、伝送速度は 200 bps である。

電離層の空間的な不均一性のため、その補正誤差は（局からの距離）× 2 ppm と見積もられ、各局を中心とする半径 200 km がサービスエリアとされている。

GPS の測位誤差要因のなかで、宇宙部分の衛星軌道誤差、衛星時計誤差、伝搬経路部の電離層伝搬遅延補正誤差、対流圏伝搬遅延補正誤差はほとんど除去される。図 2・7 に DGPS の効果を示す。

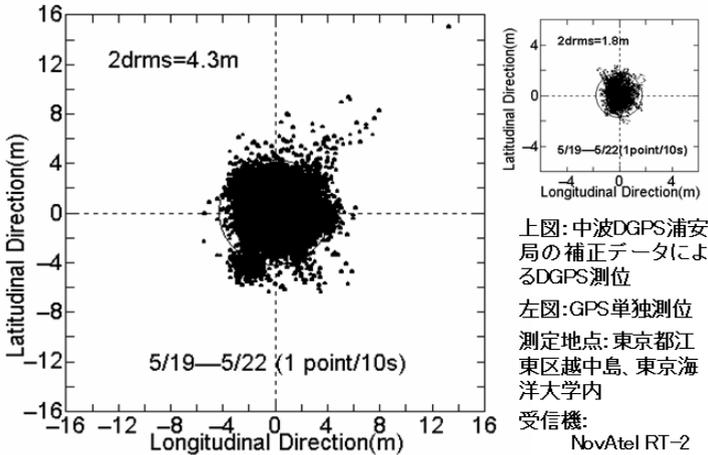


図 2・7 DGPS 単独測位と中波 DGPS データによる測位 (3 日間連続測位)



図 2・8 世界の中波 DGPS サービス域 (2006 年 5 月現在)

DGPS 補正データとして、すべてのメッセージの最初に 2 ワードヘッダ (1 ワードは 30 ビット) が送信される。このデータには、補正データ生成時刻と局の ID、続いて送られるメッセージのタイプ (中波 DGPS サービスはタイプ 9) が記されている。続いて、タイプ 9 のメッセージが 5 ワードを用いて送られる。これは基準局で受信した GPS 衛星の補正データを 3 衛星分ずつ分割して送信するもので、7 ワード (210 ビット) がひとまとめになる。補

正データの内容は、衛星ごとの LSB が 2 cm の擬似距離補正值 (PRC:Pseudo-Range Correction) 及びその変化率 (RRC: Range Rate Correction) で LSB は 0.2 cm/s である。伝送速度は 50 bps, 100 bps もある。

補正データには、衛星軌道誤差、衛星時計誤差、電離層遅延量、対流圏遅延量が含まれており、これをユーザー受信機の擬似距離測定値に適用して、以下の式で誤差を除去した擬似距離 $PR(t)$ が得られる。

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t_0) + RRC(t_0) \cdot (t - t_0)$$

$PRM(t)$ は受信機が時刻 t で測定した擬似距離で、基準局が時刻 t_0 に受信して求めた $PRC(t_0)$ と $RRC(t_0)$ を用いて補正する。 $(t - t_0)$ は補正データ伝送システムの遅延である。SA が解除された現在では、RRC は小さな値で、雑音による測定誤差が大きいのので、これを用いると逆に誤差が増えることがある。SA (Selective Availability)²⁾ は GPS の正式運用以来、2000 年 5 月まで課せられていた意図的な測位精度劣化操作で、衛星時計の位相に p-p で最大 100 m 程度、周期 500 秒程度の変動を加え、測位結果に最大 100 m 程度の誤差を生じさせていた。DGPS はこの影響も除去して、誤差を数メートルに抑えることができていた。

(3) Satellite Based Augmentation System (SBAS) による DGPS 測位³⁾

SBAS は航空機にインテグリティ情報と測位補正データを提供するために開発されたシステムで、米国では WAAS (Wide Area Augmentation System) と呼ばれ、我が国では MSAS (MTSAT^{*1} Satellite-based Augmentation System) と呼ばれて、運用されている。地上の複数のモニタ局で観測された GPS 信号をもとに、衛星軌道誤差、衛星時計誤差、MSAS では日本及びその周辺の緯度・経度 5° ごとの電離層遅延量などを求めて、静止衛星を經由し、250 bps のデータ伝送速度で、GPS の L1 電波と同じ搬送波周波数、同じチップレートの CDMA で送信されている。緯度 140° と 145° の赤道上空に 1 機ずつ配置され、PRN 129 と 137 が割り当てられている。

サービスエリアは、内陸部や沖合など、中波 DGPS サービスに比べて、そのサービスエリア内では測位精度はやや劣るものの、はるかに広い範囲で利用ができるうえ、特別の受信システムを必要としないので、ほとんどの海上用 GPS には装備されている。欧州では EGNOS と呼ばれる同一規格のシステムが準備中である。

(4) GPS コンパス⁴⁾

海上での GPS の応用として GPS コンパスがある。GPS は海上を航行する船舶が自船の位置や進行方向を得るために使われているが、潮の影響を受けると進行方向と船首方位が一致するとは限らない。そのため、多くの船舶では船首方位を求めるための方位センサとしてジャイロコンパスまたは、磁気コンパスが使用されている。

現在、ジャイロコンパスは大型船には搭載義務があるが高価、静定時間が長いなどの欠点があり、多くの小型船は磁気コンパスを搭載している。しかし、磁気コンパスは指北精度が

^{*1} MTSAT は運輸多目的衛星 (Multi-functional Transport Satellite) の頭字語で、気象衛星「ひまわり」が相乗りしている。

劣るという欠点があるので、安価で高性能の GPS コンパスが開発されている。

2002 年 7 月の新 SOLAS 導入に伴い、THD (Transmitting Heading Device) 規格が制定され、すべての客船と 300 から 500GT の国際航行船に方位センサの搭載義務を有することになった。この THD 規格にある電波方式を利用した方位センサとして、GPS コンパスが利用できるようになった。

GPS コンパスは船舶においてその船首方位上に二つのアンテナを配置することにより、リアルタイムで船首方位を求めることができる。方位計算原理の概略図を **図 2・9** に示す。船首方位にアンテナ 1 (船尾側)、アンテナ 2 (船首側) を 50 cm 間隔で設置する。船首方位はアンテナ 1 (基準) からアンテナ 2 への基線ベクトルを求めることにより求められる。まず、衛星とアンテナ 1、2 との距離差、すなわち行路差を GPS 電波のキャリア位相を測定して求める。衛星の位置は GPS 衛星から送られてくるデータにより求めることができる。一方、行路差は衛星の位置とアンテナ 1、2 間の基線ベクトルが分かれば計算で求めることができるが、基線ベクトルは未知なので、これを変化させながら行路差を計算し、測定で求めた行路差と比較し、誤差が最も小さくなる基線ベクトルを船首方位とする。方位精度は RMS で 0.7° で、ジャイロコンパスには劣るものの、価格、取り扱い・保守の簡便性、格納スペースなどの面で格段にすぐれている。

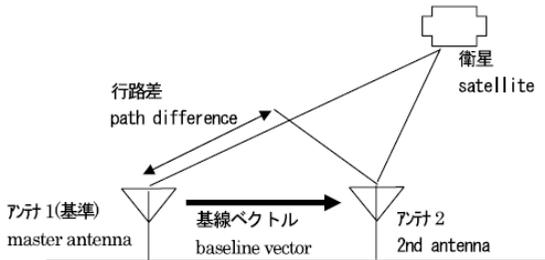


図 2・9 方位計算の原理

■参考文献

- 1) 安田明生, “GPS 技術の展望,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J84-B, no.12, pp.2082-2091.
- 2) Elliott D. Kaplan (Ed.), “Understanding GPS -Principles and Application-,” Artech House Publishers, p.241, 1996.
- 3) 真鍋英記, “運輸多目的衛星用航法補強システム (MSAS) の運用開始,” Text for GPS/GNSS Symposium 2007, 日本航海学会 GPS/GNSS 研究会, pp.35-39, 2007.
- 4) 高良祐二 他, “GPS コンパス,” 日本無線技法, no.47, pp.40-43, 2005.

2-1-3 ロラン C

(執筆者: 木田弘幸) [2008 年 5 月 受領]

ロラン C (LORAN-C) は 100 kHz の電波を利用した双曲線航法 (Hyperbolic Navigation) システムであり、地上に設置した一組の送信局 (主局と複数の従局) から発射されたロラン C 信号を船舶や航空機などに搭載した受信機で受信して、その位置 (緯度, 経度) を求めるのに利用される。1955 年に米国が実用化したシステム¹⁾であるが、ロシアにもチャイカと呼ばれる類似のシステムがある。一組のチェーン (Chain) は 1 個の主局 (M) と 2~4 個の従

局 (W, X, Y, Z などと呼称) から構成される。有効範囲 (Coverage) は主局と従局の位置関係、及び、ロラン C 局の放射電力などによって異なるが、およそ主局から 1000~1900 km である。図 2・10 に北西太平洋チェーンを例にロラン C 局配置と有効範囲を示す。有効範囲内の絶対位置精度は送信局からの距離や、海上や陸上による電波伝搬速度の違いにより変わるが 500 m よりよく、同じ受信機で同じ位置に戻ってこられる繰り返し精度はおよそ 20 m から 100 m である。

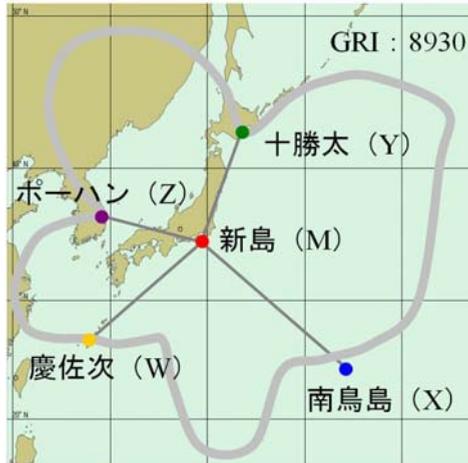


図 2・10 ロラン C 局配置例

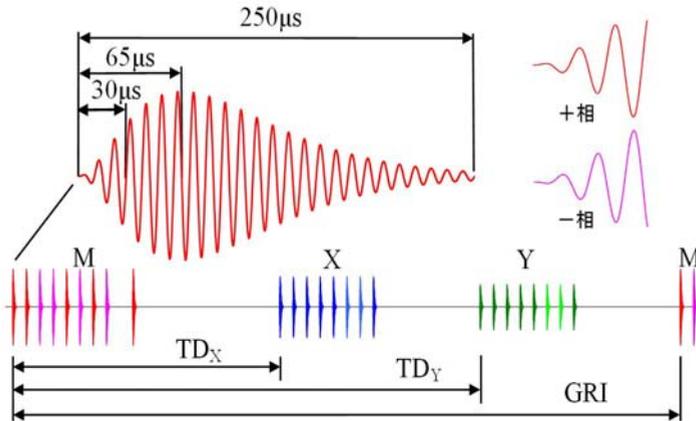


図 2・11 送信波形 (上) と 2 従局受信信号系列例 (下)

送信波形は 250 μs 長のパルスであり、図 2・11 上に示すように、立ち上がりから 30 μs で最大振幅の 63%、65 μs で最大振幅となる包絡線で 100 kHz の搬送波を変調した波形であり、90~110 kHz の帯域をもつ。個々のパルスは位相コーディング (Phase Coding) と呼ばれる

+相または一相のコーディングが施され、垂直偏波で送信される。チェーンに固有の GRI (Group Repetition Interval) と呼ばれる繰り返し周期で、主局 M から従局 W, 従局 X, 従局 Y, 従局 Z の順に主局 (Master Station) は 9 個、従局 (Secondary Station) は 8 個のパルスを送信する。主局、従局ともに 8 個目までのパルスの送信間隔は 1 ms であるが、主局の 8 個目と 9 個目の間隔は 2 ms である。従局は、主局から従局までの伝搬時間に従局ごとに固有のコーディングディレイ (Coding Delay) と称する遅延時間を加えた時間後に送信を開始する。

受信機では空間波による測位精度劣化を避けるため信号の立ち上がりから 30 μ s 点の搬送波位相を追尾するように作られており、主局と従局それぞれ 30 μ s 点の時間差 (TD: Time Difference) を測定する。図 2-11 下に主局と 2 従局の場合を例に受信信号系列を示す。主局 M と従局 X から TD_X が、主局 M と従局 Y から TD_Y が求まり、これら二つの時間差による位置の線 (LOP: Line Of Position) の交点として受信機の位置がリアルタイムに求められる。

現在、GPS など衛星を利用した航法システムが多く利用されているが、衛星航法システムは妨害波や、衛星不具合時の通知手段などにおいて課題もある。そこで、衛星航法システムとの相互補完を目指して、送信局の時刻同期化や固体化送信機による長寿命化などにより従来のロラン C を近代化した e ロラン (eLoran) と呼ぶシステムが考えられている。

■参考文献

- 1) 林 良治, “新・航行援助無線,” pp.55-75, 財団法人無線従事者教育協会, 1981.

2-1-4 電子海図表示情報システム (ECDIS)

(執筆者: 平山圭一) [2008 年 5 月 受領]

電子海図表示情報システム ECDIS は、Electronic Chart Display and Information System の略であり、各国の水路部など政府機関の下で発行された航海用電子海図 (ENC) に加え、自船位置、コース、スピードなどの安全航海に必要な情報を表示できるシステムである。ECDIS は、表示部、操作部、処理部で構成されており、処理部では、海図情報表示処理、入力信号処理、リアルタイムでの航路監視処理などが行われている。ECDIS の概念図と表示例を図 2-12、図 2-13 に示す。

ECDIS は、国際海事機関 (IMO) の性能基準書において次のように記載されている。「航路計画や航行監視において航海者を支援するため、ENC とその更新情報、航海用センサからの位置情報などを表示することにより、もう 1 台の ECDIS などの適切なバックアップを備えれば、海上人命安全条約 (SOLAS) の規則で求められている“最新維持された海図”に適合するシステムである」¹⁾。

ENC は国際水路機関 (IHO) が規定している水路情報のデジタルデータ転送基準 “S-57” に準拠したベクトル方式による電子海図であるが、データ構造上、海図として表示するには適していないため “システム ENC (SENC)” に変換されて使用される。海図の最新性は ENC に関し定期的に発行される更新情報を SENC に取り込むことによって維持される。SENC は IHO の刊行物 S-52 Appendix 2 「ECDIS 表示色彩・記号仕様基準」に従って処理され、海図として表示される。

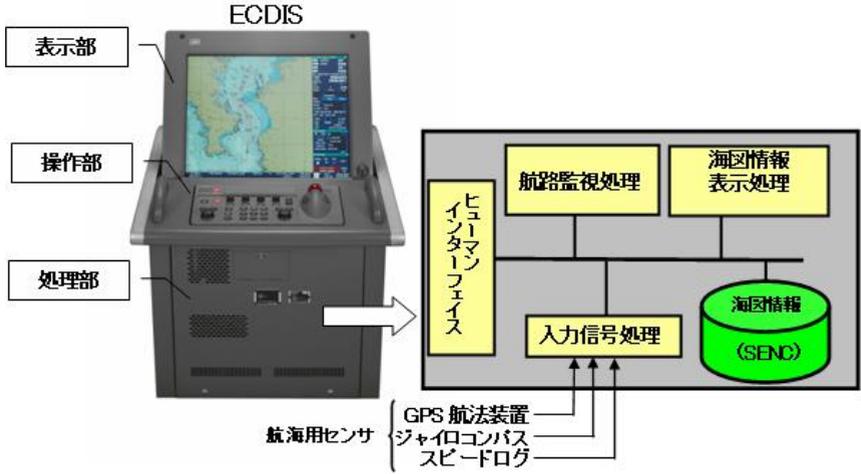


図 2・12 ECDIS の概念図

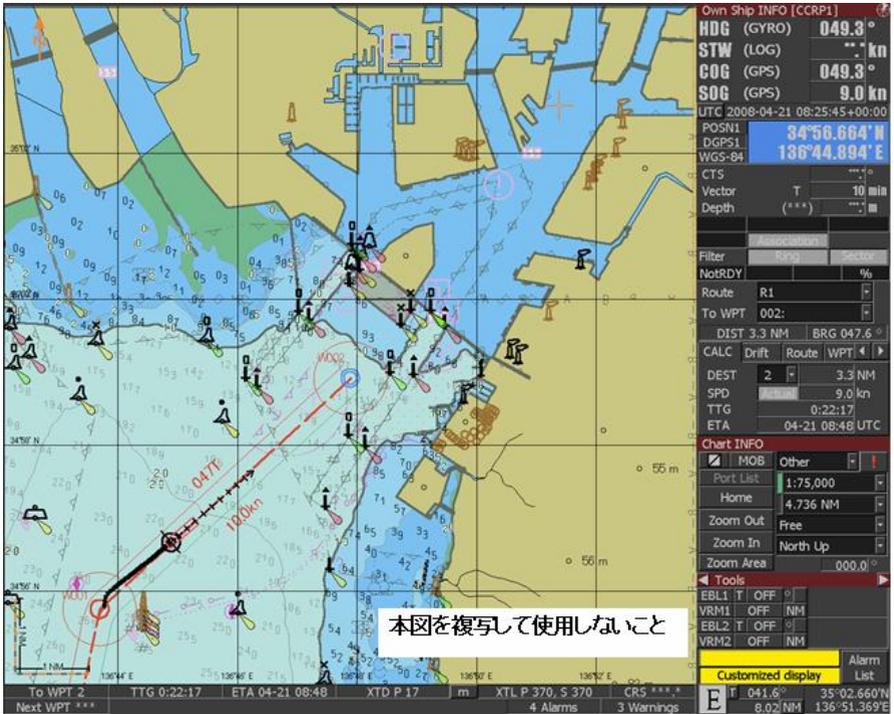


図 2・13 ECDIS の表示例

ECDIS の機能の主要なものを下記に示す。

- ・ SENC のすべての情報を表示できること。
- ・ 警報には表示による“注意”，表示と音による“警告”の 2 段階がある。自船が安全等深線もしくは危険な領域に接近した場合，警告を発すること。
- ・ 自船が計画航路から離脱した場合や変針点に接近した場合，警告を発すること。
- ・ 計画航路が安全等深線や危険な領域を横切っている場合，注意を発すること。
- ・ 過去 12 時間に遡って航海を再現できる航海情報を記録できること。
- ・ レーダの映像情報，レーダや船舶自動識別装置（AIS）の他船情報を表示してもよい。

より安全で効率的な運航という点で，ECDIS と各種航海情報を集中表示するコニングディスプレイ，レーダ，オートパイロットを組み合わせた統合航海システム（INS），あるいは INS と機関，荷役システムを組み合わせた統合ブリッジシステム（IBS）など，システム化も進んでおり ECDIS はその核となっている。将来動向として，ECDIS 搭載義務対象船の拡大，ENC を含む水路情報活用の新たな発展のために S-57 の後継基準として S-101 の開発も進められている。また，以上のような ECDIS とは別に，その基準を満たしていないが，電子海図システム（ECS）と呼ばれる機器が価格やサイズで手頃な点から小型船などで利用されている。

■参考文献

- 1) IMO: RESOLUTION A.817(19) adopted on 23 November 1995, “PERFORMANCE STANDARDS FOR ELECTRONIC CHART DISPLAY AND INFORMATION SYSTEMS (ECDIS),” p.3, 15 Dec. 1996.

■11 群-2 編-2 章

2-2 船舶の監視システム

2-2-1 船舶レーダ

(執筆著者：山田多津人) [2008年5月 受領]

船舶に搭載されるレーダは、船が安全な運航を行うために、他船や航路標識、陸岸などの映像を検出し、当該映像の方位・距離、またはそれらの時間変化の情報などから、避航動作（衝突や乗揚げの回避）の判断や位置測定などを行うために利用されるものであるが、近年では、AIS や ECDIS (Electronic Chart Display and Information System : 電子海図表示システム) など、船舶における他の通信・情報機器と統合化された情報表示システムの一つのセンサとしての役割を担いつつある。

船舶レーダに利用される周波数は2種類で、9.2~9.5 GHz (Xバンド) と 2.9~3.1 GHz (Sバンド) である。Xバンドレーダは、Sバンドレーダに比べて、比較的小型のアンテナで大きな利得や鋭い指向性が得られるので、一般商船から漁船やプレジャーボートなどの小型船まで、多くの船に装備される。一方、Sバンドレーダは、Xバンドレーダに比べてアンテナが大型になるものの、霧や雨、また、海面反射の影響下でも、物標検出能力が維持されるという特徴をもち、大型船のように2台のレーダを装備する場合には、XバンドとSバンドを1台ずつ装備することが一般的である。

アンテナはスロットアンテナが用いられることが多く、水平ビーム幅は狭く、垂直ビーム幅は船が動揺しても物標検出ができるように大きくしている。アンテナの大きさや周波数にも依存するが、一般的に、水平ビーム幅は1~2°程度、垂直ビーム幅は20~30°程度である。また、海面反射の影響を軽減するために水平偏波が用いられる。

船舶レーダはIMO (International Maritime Organization) により国際的な性能基準が定められており、2008年7月1日以降に装備されるレーダについては、IMO Resolution MSC 192 (79) という新たな基準が適用される。新性能基準は現行のレーダ装置及びプロテイング装置を統合化した基準となっている。レーダの主な探知性能に関する基準は以下のとおりである。

- ① 距離精度：30 m 以下、または表示スケールの1%
- ② 方位精度：1° 以下
- ③ 最小探知距離：40 m (アンテナ高さ15 m、停止中、海面状態がCalm (凪))
- ④ 最大探知距離：陸地や物標の種類 (海面上の高さやRCS (Radar Cross Section))、クラッタ状態によって規定。例えば、クラッタフリーで、5000トンの船では11海里
- ⑤ 距離分解能：40 m
- ⑥ 方位分解能：2.5°
- ⑦ ローリング・ピッチング：±10° 以下の揺れにおいて、物標の検出性能を満足すること
このほか、スプリアスについてはITUの勧告に適合することへの要求が、また、物標の自動追尾機能やAIS情報の表示機能など、様々な事項が規定されている。また、従来はレーダによる方位・距離の測定は、アンテナ位置を基準にしていたが、新性能基準では、他の航海計器との共通性を確保するなどの理由から、船体上のCCRP (Consistent Common Reference Point : 共通基準位置) を基準にすることとなっている。

2-2-2 船舶自動識別装置 (AIS)

(執筆者：今津隼馬) [2008年5月 受領]

AIS (Automatic Identification System) は船舶を識別できる装置であり、次のことが行える。

- ① 連続的に自船のデータを他船や VTS (Vessel Traffic Service) 局に送信する。
- ② 連続的に他船や VTS 局のデータを受信し、これを表示する。

AIS で送られる主な情報は、静的情報、動的情報、航海関係、それに安全関係の 4 種類に分類できる。その内容は次のとおりである。

- (a) **静的情報**：固有あるいは静的な情報であり、AIS が装備された時点で入力される情報である。情報としては、その船に割り当てられた MMSI (Maritime Mobile Service Identity)、コールサイン、船名、IMO 番号、長さ、幅、船型、測位用アンテナ位置。
- (b) **動的情報**：航行状況に応じて変動する情報であり、AIS に接続された各種センサを通して自動的に更新される。情報としては、その船の位置(精度とインテグリティを含む)、測位の時刻 (UTC：協定世界時)、対地針路、対地速力、船首方位、航行状態、回頭率。
- (c) **航海関係**：航海に関連した情報で、手動入力と航海中の更新が必要な情報である。情報としては、喫水、危険貨物、仕向港と ETA (Estimated Time of Arrival)、航海計画。
- (d) **安全関係**：安全に係る短いテキストメッセージで、手動入力される情報である。送り先として、個別の船、すべての船、または陸上局を選ぶことができる。

この情報の送信周期は、(a) 及び(c)の情報は 6 分間隔、あるいは要求があったときに自動的に送られ、(b)の動的情報の更新周期は、その船の航行速力と状況により表 2・3 のとおりである。

表 2・3 動的情報更新周期

船の状態	更新間隔
停泊もしくは錨泊中で、3ノット以上では動かない	3分
停泊もしくは錨泊中で、3ノット以上で動く	10秒
0から14ノットまでで航行する船舶	10秒
0から14ノットまでで航行する変針中の船舶	3・1/3秒
14から23ノットまでで航行する船舶	6秒
14から23ノットまでで航行する変針中の船舶	2秒
23ノット以上で航行する船舶	2秒

こうして送信された相手船情報を受信すれば、動的情報からその船の送信位置が判明するので、多くの船の中から船を特定(識別)することができる。また、相手船について多くの情報を素早く入手できることから、船舶の安全運航に大きく寄与することが期待されている。

AIS では、情報を次に示す 4 種類の時分割多元接続方式で送信する。

- ① SOTDMA (Self Organized Time Division Multiple Access：自律式時分割多元接続)
- ② ITDMA (Incremental TDMA：漸増時分割多元接続)
- ③ RATDMA (Random Access TDMA：ランダム接続時分割多元接続)
- ④ FATDMA (Fixed Access TDMA：固定接続時分割多元接続)

SOTDMA は、自律的に計画的な反復伝送をする場合に使用する接続方式である。一方、更新率の変更や、反復性のない通信文を伝送する場合は、SOTDMA 以外の接続方式が使用される。

AIS の送信パラメータは表 2・4 のとおりである。

表 2・4 AIS 送信パラメータ

パラメータ名称	最小	最大
AIS チャンネル 1 CH87B	161.975 MHz	
AIS チャンネル 2 CH88B	162.025 MHz	
チャンネル帯域幅	12.5 kHz	25.0 kHz
ビットレート	9600 bps ± 50 ppm	
調教シーケンス	24 bit	32 bit
送信出力電力	1 W	25 W

AIS の通信では、UTC の利用が可能な場合は UTC の時刻タイミングで同期させる。また、1 分間をフレーム (Frame)、そのフレームを 2250 に分割した一つをスロット (Slots) と呼ぶ (図 2・14 参照)。AIS ではチャンネルとして 2 周波を使っているの、スロットの合計は 2250 の 2 倍、4500 スロットある。スロットの長さは 26.67 ms であり、送信のビットレートは 9600 bps であるので、1 スロットには 256 bit の情報が書き込める。

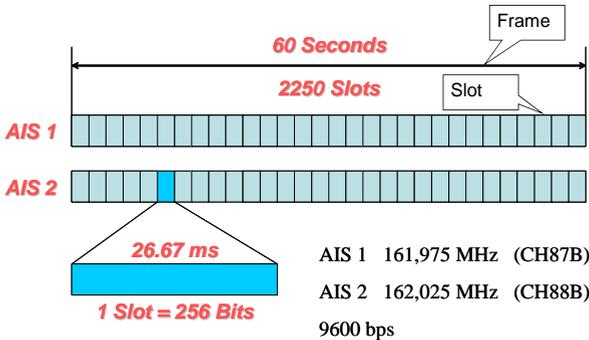


図 2・14 フレームとスロット

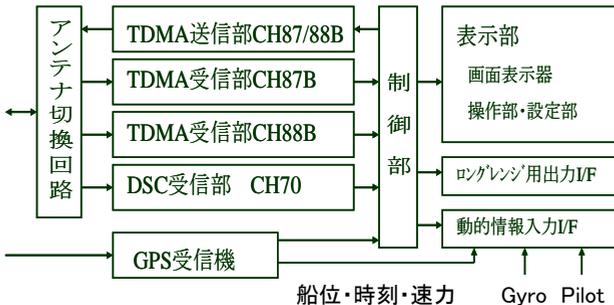


図 2・15 AIS の構成

- 図 2・15** に AIS 装置の構成を示す。AIS には GPS 受信機が組み込まれている。これにより
- ① すべての AIS が GPS から得られる UTC を使って通信することができる。
 - ② AIS では自分の位置情報を送信するが、GPS による位置情報は精度が高いため、送信した AIS 搭載船を識別できる。

また、AIS ではバイナリーメッセージの送受信ができることから、この機能を使って VTS 局から船舶に、船舶運航に有効な種々の情報、例えば気象、海象、航路状況、ディファレンシャル GPS 情報などの情報を送信することを、IMO で検討している。これが実現すれば、AIS により、相手船情報や航海に有効な各種の情報を入手できる。これに加えて自分の状況を相手に知らせることができることから、AIS は今後、船橋における非常に重要な航海情報機器になる。

この AIS は、国際航海する 300 総トン以上の船舶に搭載が義務付けられている。また、我が国の内航船の 500 総トン以上の船舶にも搭載が義務付けられている。しかし、船舶間の情報交換を AIS により行うには、搭載義務のない小型船への AIS 搭載が必要である。小型船用 AIS としては、ここに示した AIS より簡易な、SOTDMA あるいは CSTDMA (Carrier Sense TDMA : キャリアセンス時分割多元接続) 方式による AIS (簡易 AIS, AIS クラス B と呼ぶ) が開発された。今後この簡易 AIS の搭載が広がれば、船舶間の衝突回避において、相手船との意思疎通による行動決定が可能となり、船舶航行における安全性を今以上に高めることができる。

■11 群-2 編-2 章

2-3 海上交通管理システム

2-3-1 船舶の気象を考慮した最適ルート選択

(執筆著：庄司りり) [2008年5月 受領]

大航海時代から少しでも有利な航海を行うため、航海者達は常に海流や風を観測し、利用してきた。1957年に米海軍水路部のジェームズ (R. W. James) が「等時間曲線法」を提案し¹⁾、これ以後、ウェザールーティングサービスが一般的に行われるようになった。船舶の個々の航海の航路最適化を、最適航法 (Optimum Routing) またはウェザールーティング (Weather Routing) と呼ぶ。定義としては、「航海中の気象海象をできる限り正確に予測し、当該船舶の耐航性能を考慮して、ある評価基準に対する最適な航路を選定する技術」である²⁾。

船舶運航に影響を与える海上風、波、海流、流氷・冰山などの海象気象に関しては、航海の全期間及び航海する可能性のある全海域についての予測値が必要となる。現在運用されている気象海象予測モデルは第3世代モデルと呼ばれるもので、地球規模の数値予測による格子点値の利用が可能である。また、海洋循環や気候変動の予測を目的に実施されている全球海洋データ同化実験に伴い、海流予測も開始された。流氷・冰山などは、気象衛星や航空機で探知し、その存在海域を航行禁止エリアとすることで最適航法に利用している。

船速及びエンジン出力などの推定は、理論計算を用いる方法と統計解析を用いる方法がある。理論計算は、波浪中に航走する船体に働く全抵抗 (平水中抵抗に波による抵抗増加及び風圧抵抗を考慮) とプロペラ推力が等しくなるような船速を求める。統計解析は、実船のログブックを調査し、波高と船首からの波向及びプロペラ回転数の関数として船速を求める。

「最適」とは、ある評価基準について最適にすることであり、評価基準としては最短航海時間、最小燃料消費量 (航海時間は指定)、船体・貨物に対する最小ダメージ、乗客に対する最大快適性及び各評価基準の組合せなどがある。通常の商業的サービスでは、最短時間航路を推薦航路としているが、必要に応じて時間以外を評価基準とする航路の推薦も行われる。

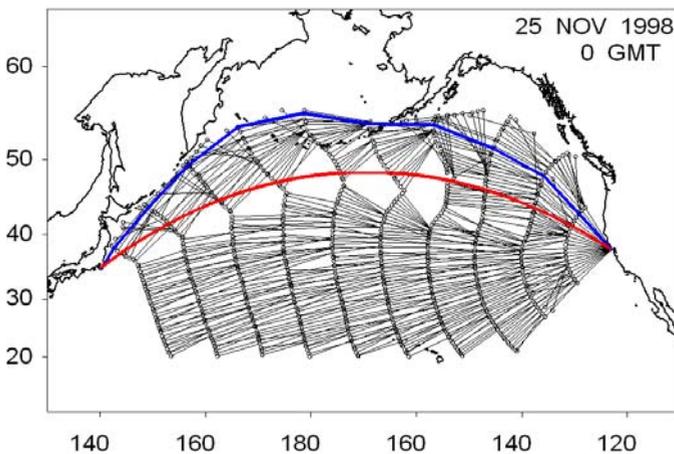


図 2-16 等時間曲線法による最小燃料消費航路

計算機により最適航路計算を行うには、最適航路を求めるという問題を定式化し、最適化のための評価基準を数式で表現する。最適化の手法としては、ダイナミックプログラミング (Dynamic Programming)、等時間曲線法 (Isochrone Method)²⁾、及び多目的遺伝的アルゴリズム (Multi-Objective Genetic Algorithm) などが用いられている。

図 2・16 は、指定航海時間を 252 時間とした場合の最小燃料消費航路の例で、最小燃料消費航路では大圏航路より 12.6 rpm 低いプロペラ回転数で航行可能なことが分かる。現在の気象海象予測精度は向上してはいるが、いまだ不確実な要素も含んでおり、その予測精度が航海時間、燃料消費量に及ぼす影響を検討するため、確率的な最適航路選定の手法も開発されている³⁾。

■参考文献

- 1) R.W.James, "Application of Wave Forecasts to Marine Navigation," U. S. Naval Oceanographic Office, 1957.
- 2) ウェザールーティング研究グループ, "ウェザールーティング -気象情報に基づく最適航法-", 成山堂書店, 1992.
- 3) 萩原秀樹, 庄司り, "確率的なウェザールーティングに関する研究 -航海時間と燃料消費量の標準偏差の推定精度-", 日本航海学会論文集, 第 104 号, 2001.

2-3-2 VTS (Vessel Traffic Services)

(執筆著: 田丸人意) [2009年1月 受領]

1 隻の船が航行する場合、自然環境を考慮して安全かつ短時間で目的地に着ければよい。しかし、航行する船が多くなると、法規による規制、灯浮標などを使い航路を設け交通整理を行うことで事故を防ぐ必要がでてくる。更に、狭水道、港内など航行海域が狭く海上交通量が多い場合には、交通管理することにより安全で効率的な航行が可能となる。そのため、船舶の輻輳する運河や港で、光、旗、信号機を使った管制が行われるようになった。これが、船舶交通管理システム (VTS) の初期である。その後、レーダ、テレビカメラを用いて、多数の船舶情報を収集し VHS により船舶と通信を行うことでより詳細なサービスを行うことが可能となった。現在、VTS を行う海域では、航路内の船舶の動静を把握し、航法の遵守及び船舶衝突などの危険が予想される場合の注意喚起、視界不良時における航行制限など航路航行中の船舶に対して航行安全のための適切な指示、助言が行われている (図 2・17 参照)。

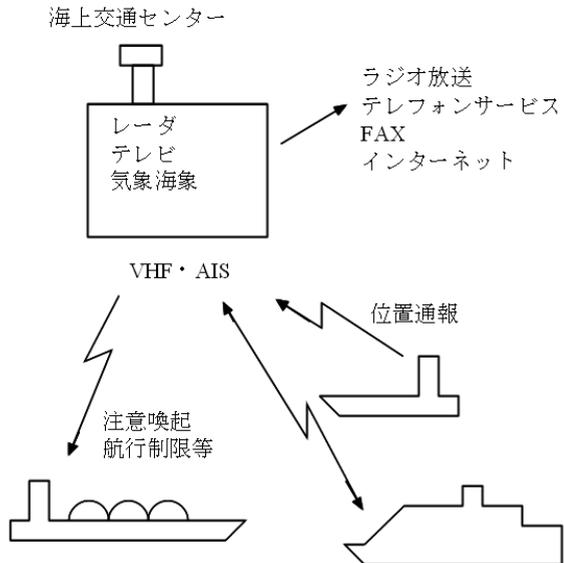


図 2・17 VTS 構成概念図

日本で行われている VTS の一つが観音崎にある東京湾海上交通センターである。図 2・18 は 1 日で東京湾を航行する船舶の航跡図を示している。1 日千隻以上の船舶が航行する船舶の安全運航のために、東京湾に設置されている四つのレーダ（観音崎、本牧、海ほたる、浦安局）及び各々の船舶からの位置通報により船舶の動静を把握している。東京湾及びその付近を航行する船舶に対して、航路に入航する巨大船などの情報、東京湾内及びその付近の気象情報、湾内の混雑情報、事故や工作業などの情報、東京湾内の各港長からの注意喚起などを、ラジオ放送、テレフォンサービス、ファクシミリサービス、インターネットホームページ、携帯サイト、AIS による情報提供、国際 VHF による情報提供を行っている。

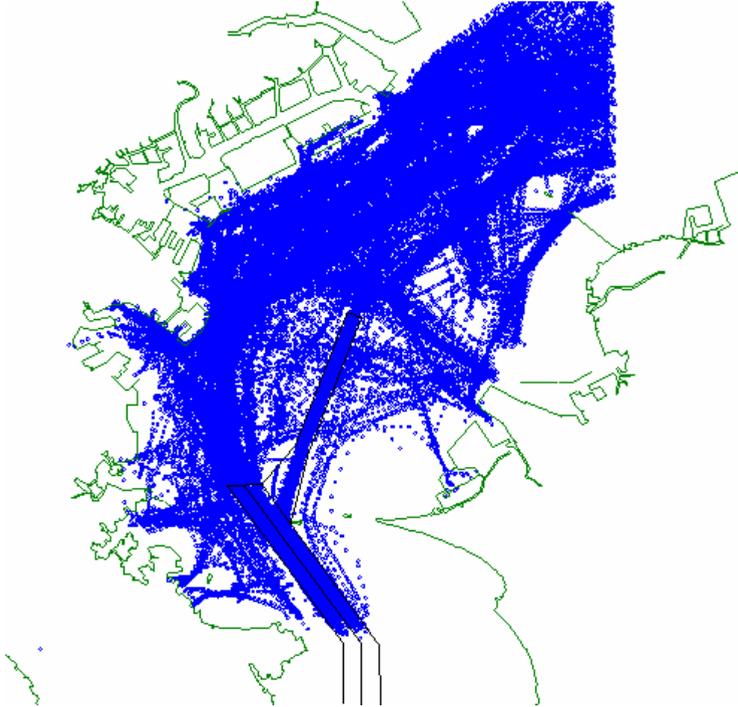


図 2・18 東京湾を航行する船舶の航跡

日本では、東京湾海上交通センターのほか、輻輳する海域の安全な航行のために、伊勢湾海上交通センター、名古屋海上交通センター、備讃瀬戸海上交通センター、大阪湾海上交通センター、来島海峡海上交通センター、関門海峡海上交通センターが設置されている。世界では、北米、ヨーロッパの沿岸、アジア、オーストラリアなど海上交通量の多いところでも VTS が導入され、国際的なネットワークを構築し効率的なサービスが行われている。

■参考文献

- 1) 藤井弥平, 卷島 勉, 原 潔, “海上交通工学,” 海文堂.

■11 群-2 編-2 章

2-4 海洋環境でのナビゲーションの応用

2-4-1 GPS 津波計

(執筆者：寺田幸博) [2008年6月 受領]

津波の発生を止めることはできないが、正確な情報の伝達によって被害を最小限にすることができる。これには、沖合で精度良く津波の高さを計測する必要がある。海面の変位に追従できる浮体に GPS アンテナを設置すれば、その測位結果から海面変動を検出できることは容易に発想でき、このための測位法として RTK (Real Time Kinematic) 法の高精度とリアルタイム性を利用したものが GPS 津波計である。この津波計の特徴は、広い周波数範囲の海面変動を数 cm の精度でドリフトなく計測できることである。すなわち、数秒単位で変化する波浪、数分から数時間の周期をもつ津波、日単位の周期の潮汐、年単位での海面変動を一つの計測システムで計測可能なことである。実測データには、適切なデジタルフィルタを適用することによって、目的とする海面変位のデータを抽出できる。

GPS 津波計の構成は、海上に設置するブイと係留装置、ブイに搭載する電源や各種計測装置と無線データ伝送装置、RTK 基準局機能とデータ公開機能をもつ陸上設備である。基本となる RTK 法の適用には、陸上基準局の補正データを海上の GPS 移動局に送信して RTK 測位結果を陸上に送り返す双方向方式と、海上の GPS 受信データを未処理で陸上に送信して陸上で測位計算を行うリバース方式がある。前者の方式は、全国港湾海洋波浪情報網 (ナウファス) で配備が進んでいる GPS 波浪計で使用され、後者は実験機で用いられて測位法の改良などに活用されている。改良例としては、PVD (Point precise Variance Detection) 法²⁾などが開発され、陸上基準局なしでも高精度の測位ができる方法として室戸岬沖 GPS 津波計における波浪計測 (<http://www.tsunamigps.com>) に用いられている。海上設備としてのブイは、設置位置の水深と係留系に依存するが、直径 5 m、全高 20 m 前後のスパア型で、太陽電池パネルによる発電機能と航路標識としての灯火を設備している。データ公開は、インターネットを使い、だれでも、いつでも、どこからでもアクセスできるようにしている。

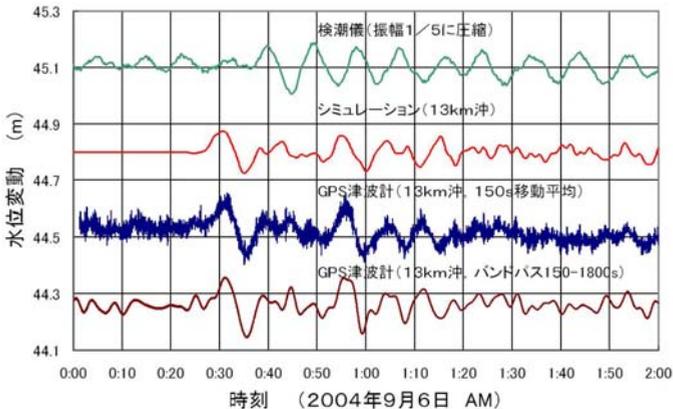


図 2-19 室戸岬沖検潮記録、数値シミュレーション及び GPS 津波計の記録

GPS 津波計の機能は、過去 3 回の地震津波で実証されている。2001 年のペルー沖地震と 2003 年 9 月の十勝沖地震による十数 cm 高さの津波を大船渡市沖に設置した GPS 津波計で観測している³⁾。また、2004 年 9 月に発生した紀伊半島沖地震津波を室戸岬沖で観測している⁴⁾。その記録を図 2・19 に示す。室戸岬沖 13 km に設置した GPS 津波計でとらえた波形は図中の青色と茶色の線で示している。この地点に対する数値シミュレーションの結果を赤色で示している。観測値と計算値の良一致が確認できる。また、最上段の緑色は、室戸岬にある気象庁の検潮所の観測値であり、比較のため振幅値を 1/5 に圧縮している。沿岸部での観測のため、波形は異なっているが、13 km 沖合との到着時間差が約 10 分あり、100 m 水深から浅い沿岸部へ伝播する間に波高が 5 倍に増幅している現象が観測できている。

■参考文献

- 1) 加藤, 寺田, 木下, 柿本, 一色, 森口, 神崎, 高田, “GPS 津波計の開発 一大船渡市沖実用化実験一,” 電子情報通信学会論文誌 B, J84-B(12), pp.2227-2235, 2001.
- 2) H. Isshiki, A. Tsuchiya, T. Kato, Y. Terada, H. Kakimoto, M. Kinoshita, M. Kanzaki, and T. Tanno, “Precise Variance Detection by a Single GPS Receiver - PVD (Point precise Variance Detection) Method -,” 測地学会誌, vol.46, no.4, pp.239-251, 2000.
- 3) T. Nagai, Y. Terada, T. Kato, and M. Kudaka, “GPS Buoy Application to Offshore Wave, Tsunami and Tide Observation,” Proc. of 29th ICCE2004, vol.1, pp.1093-1105, 2004.
- 4) T. Kato, Y. Terada, K. Ito, R. Hattori, T. Abe, T. Miyake, S. Koshimura, and T. Nagai, “Tsunami due to the 2004 September 5th Off Kii Peninsula Earthquake, Japan, recorded by a new GPS Buoy,” Earth Plants Space, vol.57, pp.297-301, 2005.

2-4-2 海洋建設のリアルタイム・キネマティック GPS

(執筆著者：増田 稔) [2008 年 12 月 受領]

GPS 基準局の設置及び GPS 補正情報の提供は、海上 GPS 利用推進機構（以下、GPS 機構）によって、1994 年に神戸地区及び関門地区で開始された。その後全国に広がり、多くの海上工事などに採用され、様々な応用システムが開発されている。

(1) 基準局

2008 年 8 月現在、GPS 機構は全国で 15 のリアルタイム・キネマティック GPS（以下、RTK-GPS）基準局を会員向けに運用している。図 2・20 に基準局の位置を示す。これらの地域では海上 GPS 測位用に特別に割り当てられた 229 MHz 帯の専用周波数を使用し、空中線電力 10 W の高出力で補正情報を送信しているため、電波の混信が少なく、約 10～15 km の距離内で安定した測位精度数 cm の高精度が可能である。

年間を通して 24 時間、GPS 補正情報が送信されており、現在、基準局がない場所でも 1 か月以上にわたる GPS 補正情報の利用で、かつ会員の要望があれば、臨時の基準局が設置される。これにより、実質的に全国どこでも利用可能な体制ができています。

基準局の機器は二重化構成（GPS 送信機 2 台、受信機 2 台）であり、現用機に問題が生じた場合は予備機への切替えなどで、システムダウンを極力抑えている。全国の基準局は GPS 機構及び保守を委託された会社と電話回線で結ばれており、遠隔監視、遠隔操作により基準局の動作状態のチェック、現用機と予備機の切替えなどが可能である。

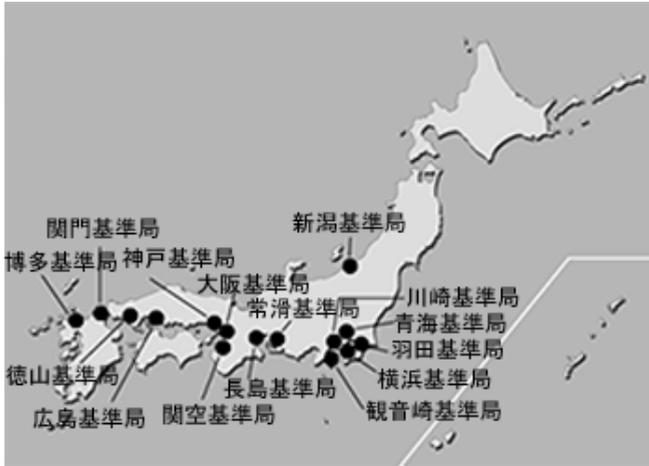


図 2・20 基準局の位置

(2) RTK-GPS を利用したシステム開発

複数の作業船や重機が一つの基準局を使うため、大型プロジェクトでも一元的な位置管理ができることを利用し、様々なシステム開発が行われている。実績としては「高精度マルチビーム測量」、「作業船高度監視」、「バギー測量」、「ブルドーザー管理」、「転圧ローラー管理」などのシステムがこれにあたる。

(a) 高精度マルチビーム測量システム

ナローマルチビーム^{*1} 利用による海底部の施工管理を目的として開発された。データ収録から解析までを行い、計測したデータをリアルタイムに施工へ反映させるため、土量の算出・三次元地形・構造物などの可視化処理を高速で行う。測深位置の算出にRTK-GPSを用いる。

(b) 作業船高度監視システム

空港付近の制限高度区域内に侵入する作業船には、RTK-GPS を用いて高さを計測し、リアルタイムで監視する。

(c) バギー測量システム

造成や埋め立て現場など、広域測量作業に機動性を重視したシステムである。RTK-GPS をはじめとした測量機器を搭載することで、迅速かつ高密度な測量を行う。

(d) ブルドーザー管理システム

造成における仕上がり地盤高を RTK-GPS で計測し、リアルタイムで表示する。オペレータは確認しながら施工できるシステムである。

(e) 転圧ローラー管理システム

施工区域内における振動ローラーの転圧回数・平面位置をリアルタイム表示する。同時に

^{*1} ナローマルチビーム:扇状に発信される多数の音響ビームにより同時に測深することを可能とした方式。

施工後の出来型データの収集を自動で行う。

図 2・21 に RTK-GPS を利用した統合情報化施工管理システムイメージを示す。各々のシステムをネットワークでつなぎ、施工状況を管理することを目的とした「統合情報化施工管理システム」は、空港島をはじめとした様々な海洋建設に採用されている。



【測量船】

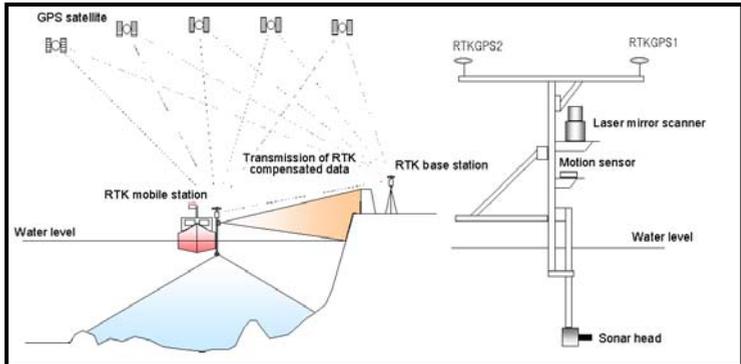


図 2・21 RTK-GPS を利用した統合情報化施工管理システムイメージ

(3) 海洋建設のさらなる沖合への対応

近年、海洋建設はGPS補正情報が届かない沖合へ進出しており、対策がとられている。代表的なものに、全世界をカバーするネットワーク型高精度ディファレンシャルGPS測位システム (WADGPS^{*1}) 「StarFire」があげられる。図 2・22 に WADGPS のシステムイメージを示す。公証精度 $\pm 15\text{cm}$ を実現し、精度を確保するための基準局やポスト処理は不要である。基地局

*1 WADGPS : Wide Area Differential GPS

は全世界に約 55 箇所存在し、補正情報はインマルサット静止衛星経由で送信される。地球の静止衛星の適用範囲である、北緯 76 度から南緯 76 度までの陸あるいは海上で同じ精度が確保できる。これまでに沖合での海洋工事で採用され、実績をあげている。

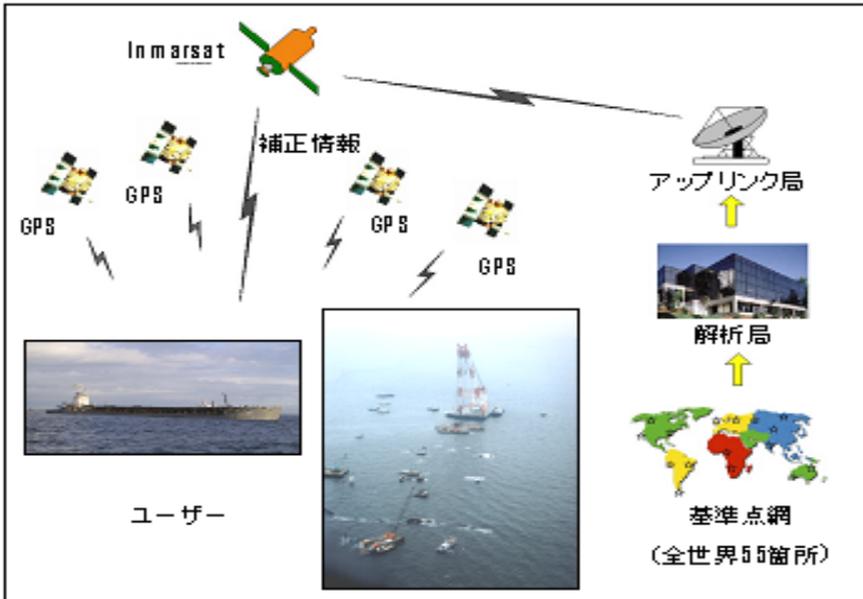


図 2・22 WADGPS のシステムイメージ

■参考文献

- 1) “港湾・空港における RTK-GPS 利用ガイド,” pp.23-33, 特定非営利法人 海上 GPS 利用推進機構, 2007.
- 2) “浅海用マルチビームを利用した建設工事施工管理システム運用紹介,” pp.48-50, 海洋調査技術学会第 12 回研究成果発表会講演論旨集.

2-4-3 自動制御位置保持装置 (DPS)

(執筆著: 田丸人意) [2009 年 1 月 受領]

海底ケーブルの布設工事, 海洋調査, 深海潜水業務, 橋梁(りょう)架設工事のために, 台船を潮流, 風などの海象・気象外乱条件下において, 係留索や鎖で係留する代わりにスラストなどの推進力を用いて定点保持させるシステムが Dynamic Positioning System (DPS) である¹⁾.

DPS を実現するためにはセンサ, アクチュエータ, そして制御則が重要な課題となる²⁾. 一般に多入力多出力の DPS の制御では 1 入力 1 出力の古典制御理論は難しい. しかし, 位置保持のみを考慮するのであれば, 船体の運動によって生じる流体力は小さい(通常航行中は前進速度があるため, 偏角が付くとそれにより横力, モーメントが発生する). そのため, DPS では, 南北方向位置, 東西方向位置, 船の針路の 3 成分に分け, それぞれ独立した 1 入力, 1 出力システムとして扱う場合が多い.

ここで紹介する Weather Vaning DPS³⁾ は, 図 2・23 に示すように船首に設置した制御点を指

定点上で保持させるが、船首方向の保持は行わないシステムである。そのため、位置保持中の船体は外力が最も小さくなる方向に向くことになり、少ない推力で位置保持が可能である。制御点から指定点までの船首尾方向距離 Δx 、正横方向距離 Δy に対する PID 制御と、船首尾船方向と正横方向の風圧力から、船首尾船方向推力 (F_x)、正横方向推力 (F_y) が求められる。この方法の有効性を検証した実験結果を図 2・24 に示す。DGPS から位置情報を、外力として風圧力を入力値とし、求められた CPP 推力とバウスラスト推力から各指令翼角を求めた。矢印は実験中の平均風向、平均風速を示し、船体輪郭 (船体長 49.9 m、幅 10 m) は 20 秒ごとに描いている。半径 5 m と 25 m の円を描き、その中心が設定した指定点である。船首が風向に向いた状態で、制御点は指定点から前後方向 1 m 以内、正横方向 0.5 m 以内で位置保持が可能であった。

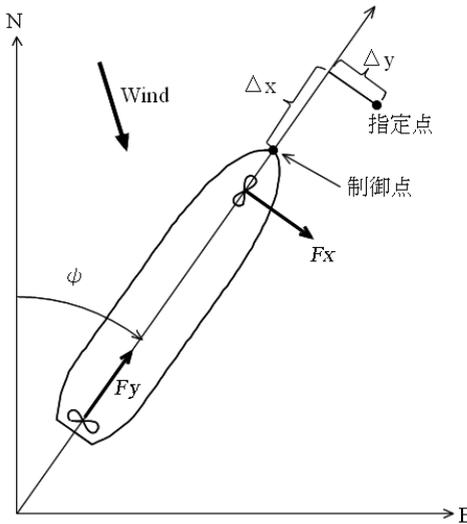


図 2・23 ウェザーベーン型 DPS

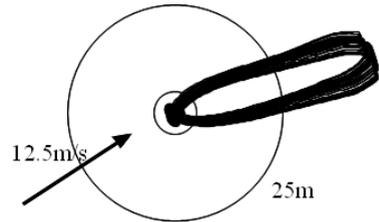


図 2・24 WVDPS 実験時の船体輪郭プロット図

■参考文献

- 1) 元良誠三, 小山健夫, 藤野正隆, 前田久明, “船体と海洋構造物の運動学,” 成山堂書店, pp.345-350, 1997.
- 2) “船体運動及びその制御と海象 —我が国における運動性脳研究の歩みと展望—,” 運動性脳研究委員会第 13 回シンポジウム, 日本造船学会, pp.71-85, 1997.
- 3) J. A. Pinkster, 萩原秀樹, 庄司りり, 福田人意, “ウェザーベーン型自動位置保持システムの研究,” 航海学会論文集 101, pp.83-93, 1999.

2-4-4 GPS 姿勢計測装置

(執筆: 中村幹男) [2008 年 5 月 受領]

GPS (Global Positioning System) 姿勢計測装置 (Attitude Determination System) は、複数のアンテナにより GPS 衛星の信号を受信し、姿勢 (方位 (Heading), ピッチ (Pitch), ロール (Roll)) を算出する装置である。方位を計測するジャイロコンパス (Gyrocompass) と比較

すると、ピッチ、ロールが計測可能、静定時間が短い、メンテナンスが不要などの長所がある。短所は、障害物により信号中断し計測不能になることである。

GPS 姿勢計測装置の 3 アンテナ方式での構成例を図 2・25 に示す。受信機は 3 アンテナにより GPS 衛星の信号を受信し搬送波位相 (Carrier Phase) を測定する一方、信号を復調し衛星配置を計算する。処理機はアンテナ 1 を基準アンテナとし、他の 2 アンテナの搬送波位相との差分を計算する。搬送波位相の差分と衛星配置を使用し、基準アンテナから 2 アンテナへの相対位置を算出し姿勢に変換する。計測不能の間もレートジャイロにより測定した角速度を使用し、姿勢を更新する。なお、重力加速度センサなどによりピッチ、ロールを計測する 2 アンテナ方式の姿勢計測装置も存在している。

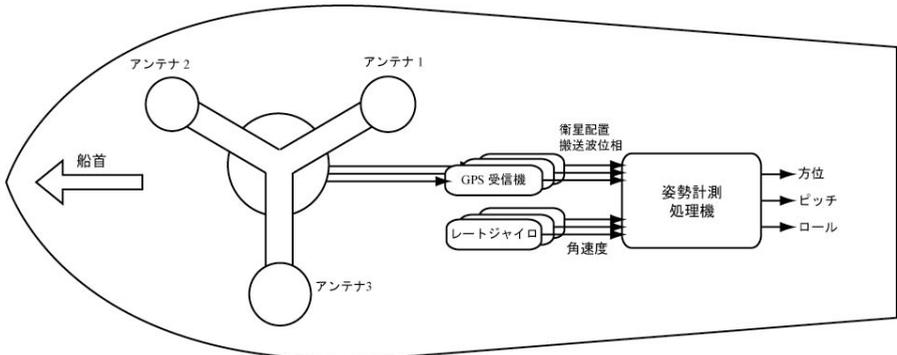


図 2・25 GPS 姿勢計測装置の構成例

測定精度は基線長 (Baseline Length ; アンテナ間距離)、衛星配置、搬送波位相の測定精度に依存する。搬送波位相の測定精度は信号強度、マルチパス (Multipath) などに依存する。マルチパスはアンテナの周囲に存在する構造物、海面からの反射が主要因であり、アンテナの設置場所を適切に選択することが重要である。良好な設置場所での方位精度 $[\text{°}]$ (1σ) は、30 cm/基線長 [cm] 程度である^{1),2)}。

航海設備の搭載基準などを規定している海上人命安全条約 (SOLAS) によると、300 総トン以上 500 総トン未満の船舶と、乗客 100 名以下の旅客船には船首方位伝達装置 (THD) の搭載義務がある。GPS 姿勢計測装置は電波方式の THD に対応している。電波方式の THD の性能基準 (Performance Standard) は国際海事機関 (IMO) により定められており、主要な項目は以下のとおりである。

- ・ 静的方位精度 1.0° (95%) 以内
- ・ 動的方位精度 1.5° (95%) 以内
- ・ 60 秒間の信号中断の間も方位精度を維持
- ・ 静定時間は 10 分未満
- ・ 50 ms に少なくとも 1 回方位を更新

欧州では衛星航法システム (GNSS) ガリレオ (Galileo) の開発が進められており、2012 年にサービス開始予定である。障害物による信号中断の点では使用可能な衛星が多いほど有

利なため、複数の GNSS に対応した姿勢計測装置の登場が予想される。

■参考文献

- 1) Bradford W. Parkinson, James J. Spilker, “The Global Positioning System: Theory and Applications II,” pp.519-538, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
- 2) Elliott D. Kaplan, Christopher Hegarty, “Understanding GPS: Principles and Applications, Second Edition,” pp.423-425, ARTECH HOUSE, 2006.