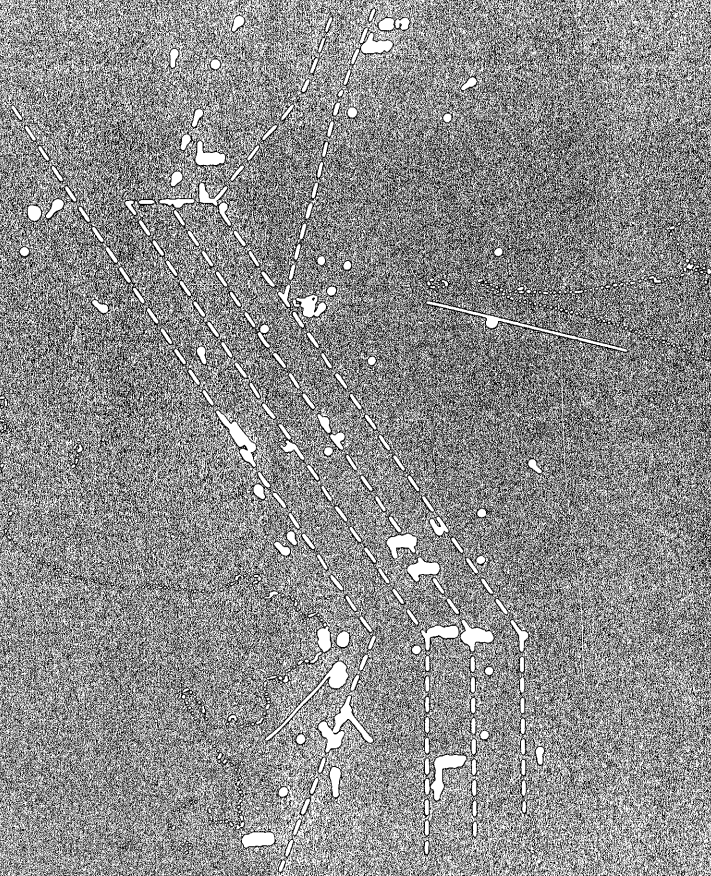


ISSN 0287-6450

Denpa kōhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN. 47·48

2006

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee-
for Radio Aids to Navigation

— 目 次 —
CONTENTS

巻頭言「夢」	会長 林 尚 吾	(1)
Foreword	Chairman Shogo HAYASHI	

講演の記録

[地震予知に関する講演]

「地震に伴う電磁気現象と地震予知の可能性」	早 川 正 士	(3)
	Masashi HAYAKAWA	

[GPS に関する講演]

「DGNSS を取り巻く世界動向」	浜 岡 洋 介	(19)
	Yosuke HAMAOKA	

[海洋通信に関する講演]

「海洋ブロードバンドを用いた船舶の運航管理」	庄 司 る り	(40)
	Ruri SYOJI	

[準天頂衛星に関する講演]

「高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発（その2）」	伊 藤 憲	(49)
	Ken ITO	

[PLC に関する講演]

「PLC (Power Line Communication) の概要」	徳 田 正 満	(59)
	Masamitsu TOKUDA	

「高速 PLC の概要と当社の取り組み」	森 田 淳 士	(73)
	Atsushi MORITA	

特別研究会紀行

「種子島宇宙センター及び種子島灯台見学特別研究会」に参加して	前副会長 田 中 仙 治	(83)
	Senji TANAKA	

電波航法研究会事業報告（平成 17 年度・18 年度）	事 務 局	(91)
-----------------------------	-------	------

電波航法 巻頭言

(Foreword)

夢

電波航法研究会

会長 林 尚 吾

Chairman Shogo HAYASHI

約45年前、太平洋を航海しているときは天候まかせてしか本船の正確な位置が求められない天文航法が全盛の頃であった。当時、ロランによって位置が求められるのも限られた海域のみであった。昭和40年代になってNNSS（米国での名称はTransit）で世界中の海域で位置が求められるようになって、当初のロングドブラ方式ではなかなか確実には連続して受信できず、測位失敗となることが多かった。

時は移り、さまざまな電波航法システムが出現しては駆逐されてゆく時代を経て、現代ではGPSひとつに集約されている。海上保安庁と電波航法研究会のメンバーはまさにその変遷の歴史の生き証人と言える。皆様のご活動の賜物として大洋における測位に関する一つの夢が実現したわけです。

先日、大手造船会社電気設備技術者OBと話をする機会があったが、「最近の造船はコスト第一で、新しいものを開発しようという気持ちがなくなってしまっている。」と嘆くことしきりであった。曰く「夢もシーズもない。」とのこと。

コスト削減は事実としても、シーズもないとは！ 残念至極！

今号に掲載されている「海上における高速ブロードバンド」や「PLC」に関する記

述を見ると、海上（船上）における通信の現状とともに、その解決の一助として船にも応用できる陸上技術の一端が見えてくる。

特にインターネットに関しては、使えないと仕事が捗らない人、いつでも接続できないと生活に不便を感じるような人が多くなっている。使い方の是非はここではおくが、内航船船員という職業に若い人が魅力を感じられない理由のひとつに挙げられては看過できない。ぜひ船内の環境を陸上と同等に整えるべく、技術開発が進むことを希望する。今後も追跡していきたい事項である。

その他に、まだまだ未知の部分と夢がある「電波による地震予知」について、今号で報告していただいている。地震の発生のような大きなエネルギーの蓄積と一瞬の物理的ひずみの発散には電氣的エネルギーが関与することはピエゾ効果として物理学の基本である。先達はその原理を応用してトランスデューサを製作し音響測深機のみならずあらゆる分野に使用されている。詳しいことは早川先生にご執筆を頂いた「地震に伴う電磁気現象と地震予知の可能性」のご一読をお願いしたい。

電波航法の研究においては、24時間いつでも高精度で位置が求まるシステムが実

現し、地殻変動の計測も行われ、地震の発生予測も近づいている。このように夢であったことがどんどん現実のものになってきた。この原稿もワシントンに向かう機内でノートパソコンに打ち込んでおり、到着してからホテルのインターネットで編集担当の田中裕和さんに送る予定でいる。このようなことも20年前には夢であった。原稿といえばファクシミリで送信するのがせいぜいの時代であった。

さてさて、航空機ならば、到着してから送ればよいという程度の「空白時間」であるが、海上では「空白時間」が長すぎる。もちろん航空機でも飛行中のインターネット接続サービスが利用できた時期が1年前までであった。しかし、実際にはサービスの利用者が少なくビジネスとして成立できなかったため、北米路線も欧州路線もインターネット接続サービスは撤退している現状である。航空機のように「空白時間」が長くても12時間、出張先のホテルで接続すれば24時間以内に最新情報の送受信が可能であるならば高い料金を支払ってまで接続する人は少なかったということだろう。時期尚早のサービスだったとサービス

会社も分析している。しかし、外航船においては24時間以内に確実に連絡が取れる状況は限られている。大型船あるいは限られた船舶であろう。通信コストが高すぎるからである。目標は「24時間常時接続で10Mbps以上の通信速度が低廉なコストで利用できる状況」が海上でも利用可能になることであろう。

通信と航法は分離できない関係となった。航法の高度化は情報通信に支えられている。国際の動きも近年、e-navigationに代表されるように、情報の支援による効率化を図っている。

逆温故知新あるいは逆時系列からの発想

「20年から25年先の世界を想定して、こんな状況になっているのだ」と定め、その夢を実現する過程を解析する発想の旅に出かけようではありませんか！

「シーズ探し」を楽しもうではありませんか！

夢を語ろうではありませんか！

地震に伴う電磁気現象と地震予知の可能性

早川 正 士 (電気通信大学 電子工学科)

Masashi Hayakawa (The University of Electro-Communications)

あらまし

近年地震に伴って各種の電磁気現象が発生することが報告されている。即ち、地圏から直接放射される電磁気現象や地震に伴う大気圏や電離圏の擾乱などである。本報告では、地震の短期予知の観点から極めて注目されている二つの観測項目；(1) ULF 電磁放射 (地圏から直接放射される極低周波電磁放射)；(2) 電離層擾乱 (VLF/LF 送信局電波の伝搬異常として検出) を取り上げ、その最新の成果をレビューする。

1. まえがき

地震学や地震地質学、測地学の進歩に伴い、(1) 長期的 (数百年オーダー) 地震予知 (予測の方がより適切と思うが)、(2) 中期的 (数百年～数年オーダー) 予知 (予測) に関してはそれなりの進歩が見られる。しかし、(3) 短期的 (数ヶ月～数日オーダー) 予知の実現はその重要性にもかかわらず、まだ道は遠いように見える。各種観測網 (地震、地殻変動等) が整備されつつあるにもかかわらず、大災害をもたらした北海道南西沖地震、兵庫県南部地震、中越地震を含めて、短期 (事前) 予知に成功した例はない。現時点では短期的地震予知は当面不可能であるという悲観的見解が特に地震関係者の間では支配的である。しかし、神戸地震後科技厅主導によるフロンティア研究が理化学研究所、宇宙開発事業団 (早川担当) によって

実施され、地震に伴う各種の電磁気変化 (大気圏や電離層への影響も含めて) などに関連する有望な成果が多数発見された。又、ラドン濃度等の地球化学的变化でも有望な報告がなされている [1]。また日本のフロンティアに刺激され、近年地震前兆としての電磁気現象を集め、国家的に取り扱う国家プロジェクトが各国にて採択され、世界的盛り上がりを見せている。

地震に先行して発生する電磁気学的な現象が近年様々な周波数帯において報告されている [1、2、3]。地震電磁気現象の観測手法を表 1 にまとめる。(1) 自然放射波の観測 (地震に伴う広い周波数にわたって発生する放射を受信し、地震との関係を調べる)、(2) 送信局電波を用いた大気圏や電離圏の擾乱を観測するもの (いろいろな周波数において存在する送信局電波を用いて送信局と受信点を結ぶ経路近くの地震に伴う大気や電離層の擾乱を検出するもの)、(3) 電離層内の直接観測 (人工衛星により直接電離層内においてプラズマ異常や波動も観測するもの)、(4) リモートセンシングによる地表面温度の上昇観測 (人工衛星からのリモートセンシングによる地震に伴う地表面温度の変化を観測するもの) に分類される。(1) は地震の発生準備段階において地殻内部で応力変化等の原因で自然放射が発生するとの考えに立脚している。(2) は、地震に関連する擾乱が大気圏や電離圏に発生す

表 1 地震電磁気現象の観測手法

Table 1 Classification of observation methods of seismo - electromagnetic phenomena

観測方式 \ 周波数	周波数							
	0	$\sim 10^{-3}$	~ 10 Hz	3~30kHz	30~300kHz	一階波数	HF	VHF
	DC(直流分)	ULF	ELF	VLF 航行用電波	LF	MF ラジオ	HF 短波 (MHz)	
1) 自然放射 (直接に出てくる波) (Passive measurement)		●AE (ロシア、日本) ○VLF放射 ギリシャ(パロストス) 米国(フレザ・スミス) 日本(上田、長尾他) 日本(早川・藤崎) 中国他多数	○ロシア(モルチャノフ他)	○ロシア(Gekiberg 他) 日本(芳野・富沢、 藤崎・高橋、尾池・畑他)	○ロシア	○米国(Wanwick) 日本(榎本)		
2) 間接的効果(大気圏・電離層の影響) (既存電波を利用) (Active experiment)				●VLF送信局 (オマガ etc.) (ロシア) (日本・ロシア)	ロラン (ロシア)	MF放送波 の異常 (イタリア)	見通し外FM波 の受信 (日本)	電離層 トモグラフィ (イオン圏) (イオン圏)
3) ●衛星による直接電離層観測 (自然放射の受信) (超高層プラズマ異常) (In-situ measurement)			ULF/ELF/VLF放射 ロシア、仏国、米国、日本 電離層プラズマ異常、プラズマ組成変化、高速プロトン降下等					
4) リモートセンシング法 (衛星から地表温度の計測) (Remote sensing)								マイクロ波 IR(遠赤外線)

るとの仮説に基づく。もし伝搬経路上の大気圏や電離層に異常があれば、精密に制御されて送信されている既存電波の観測点での振幅や位相に異常が出現するとの考えによる。地震電磁気現象が目指す地震の短期予知の観点から注目されているのが、(a) 地圏内現象である ULF 放射と (b) 電離層擾乱観測の二つである。(a) は直接放射(1)のうちの極超低周波の電波である。(b) の観測には(2)の既存の VLF/LF 送信局電波の伝搬異常を用いている。本論文ではこれらの計測技術と最新の成果や研究動向を重点に紹介する。

2. ULF 観測

2.1 ULF 放射研究の歴史と現状

1980 年代後半に入り、地震に関連するとみられる ULF (ultra-low-frequency の略で、周波数 1Hz 以下) 帯の地磁気変動に関

する研究が開始された。一般に高い周波数の電磁波は表皮効果により地表まで伝搬できないが、ULF 帯電波にはこの問題はない。後出する日本のフロンティア計画が開始されるまでで、地震に先行する磁場変動として信頼できる事例は、(1)アルメニア・スピタク地震 (1988 年 12 月 8 日マグニチュード (M) 6.9、深さ (d) 6 km)、(2)アメリカ・ロマプリータ地震 (1989 年 10 月 8 日 M7.1、d = 15 km)、(3)グアム地震 (1993 年 8 月 8 日 M8.0、d = 60 km) の 3 つであった。観測点と震央 (地震は地下で発生するが、それをまっすぐ地表に投影した点) の距離は(1)では 129 km、(2)では 7 km、(3)では 65 km であった [4、5、6]。(2)のロマプリータ地震の際の ULF 波変動を図 1 に示す。地震の 12 日～5 日前に磁場の水平成分の強度が著しく上昇し、その後静穏化した後、1 日前から再び強度が上昇し、地震の 3～

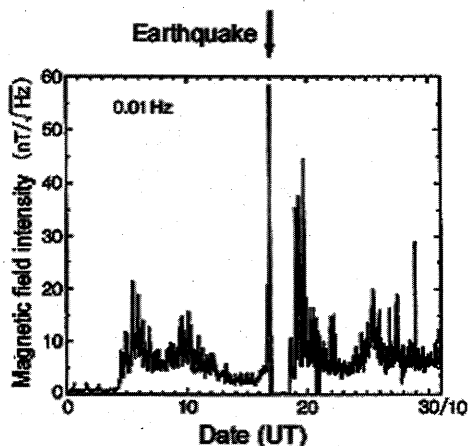


図1 ロマプリータ地震に伴う磁場変動
(0.01Hz)

Fig.1 Geomagnetic anomalous changes for Loma Prieta earthquake (0.01Hz)

4時間前から急激な上昇が観測された。ほかの2つの地震でも有意な磁場強度の変化が観測されており、ULF磁場変動と地震活動との関係を詳細に研究するきっかけとなった。実は、後述する研究により、ULF放射の時系列変化は観測されたすべての地震に対しても同じであることもわかって来ている。まず地震とULF磁場変動の関係について述べる。最初に、関東地区に構築した我々のULFネットワークを紹介する。続いて、ULF帯の磁場データを用いた解析においては、観測されたULF帯のデータが地殻内部起源であるかどうかを弁別することが重要な鍵であり、信号処理法も述べる。

2.2 関東地区におけるULF観測ネットワーク

国内での地震電磁気現象の研究は神戸地震後の旧科学技術庁主導によるフロンティア計画により大きな発展をとげた。二つの

フロンティアは(1)理化学研究所と(2)旧宇宙開発事業団(早川担当)によるものである。理化学研究所のフロンティアでは直流の地電流の測定を中心テーマと捉え、他方宇宙開発事業団は地震リモートセンシングフロンティア研究の名が示す様に、地圏のみならず、大気圏や電離圏での地震に伴う擾乱を総合的に調査した。

両フロンティア研究の境界領域であるULF放射に対して両フロンティアグループが協力してULF放射の観測及び研究を行ってきた。まず、理化学研究所の主眼である地電流(VAN法)測定は直流の測定であるが、より高周波のULF現象とも密接に関係していることが予想される。又、前述した大地震に対する明瞭な前兆ULF放射が確認されるに至り、関東地区での大地震に備えることを目的として、図2に示す様に関東地区にULFネットワークを構築した。このネットワーク構築で必要な事項は

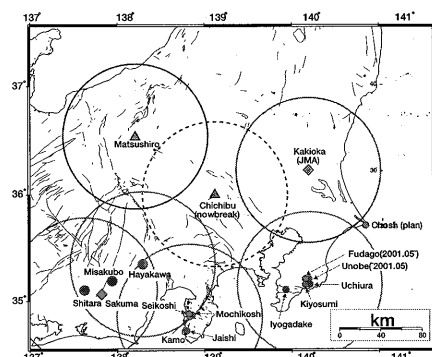


図2 関東地区でのULF観測ネットワーク。丸印の観測点はトーション型磁力計が、三角形の観測点はインダクション磁力計が、ダイヤモンド印の観測点はフラックスゲート型磁力計が設置されている。

Fig.2 A network of ULF observing stations in the Kanto (Tokyo) area. The observing station with a circle indicates that it is equipped with a torsion type magnetometer, a triangle, induction type, and a diamond, flux-gate type.

ULF放射がどの程度の距離まで地震に感ずるかであるが、これは我々の理論計算[7]に基づいている。M=7では半径100 km、M=6では~70 kmである。図2ではこの点を考慮した観測点の設定となっている。伊豆半島、房総半島、柿岡、秩父、松代の5観測地点で構成され、観測点間の距離はほぼ80 kmである。しかも、伊豆、房総半島ではそれぞれ3~4箇所(間隔10 km程度)の観測点が設置されている。即ち、伊豆には清越、持越、賀茂観測点があり、房総には宇野辺、内浦、清澄観測点があり、これらによりローカルなアレイも構成し、全体のグローバルアレイと相補う形となっている。

両半島でのすべての観測点の観測システムはトーション型の磁力計(ロシア製、MVC-2DS)を採用している。その特性を要約すると、

- (1) 型式: トーション型、3成分(x, y, z)測定
- (2) 観測周波数: 0 ~ 10Hz
- (3) 動作範囲: $\pm 5000nT$
- (4) 雑音レベル: $3pT_{rms}/\sqrt{Hz}$ (1Hz)である。

上記磁力計による観測は順調に稼動しており、清越では50Hz、持越でも50Hz、賀茂では12.5Hzのサンプリング周波数で観測を行っている。

次に柿岡は気象庁の柿岡地磁気観測所を意味し、同所のデータを使用することを考えている。同所ではインダクション型磁力計も使用している。次に、秩父および松代はウクライナ製のインダクション型の磁力計であるが、その諸元を下にまとめている。なお、柿岡の磁力計も下記とほぼ同等の性

能である。

- (1) 型式: サーチコイル(インダクション)磁力計
- (2) 観測周波数: 0.01 ~ 30Hz
伝達関数: 線形(0.01 ~ 1Hz)
平坦(1 ~ 30Hz)
- (3) 雑音レベル:
 $\leq 20pT/\sqrt{Hz}$ (0.01Hzにおいて)
 $\leq 2pT/\sqrt{Hz}$ (0.1Hz)
 $\leq 0.2pT/\sqrt{Hz}$ (1.0Hz)
- (4) 雑音除去: 60dB以上(50Hz $\pm$ 0.2Hz, 60Hz $\pm$ 0.2Hz)

2.3 ULF帯の磁場変動の検出法

- (1) 磁場スペクトルの鉛直成分と水平成分の比(偏波解析)

地殻活動に関連する磁場変動を検出するためにスペクトルの鉛直成分と水平成分の比 S_z/S_H が有効であることを初めて示した(偏波解析と名付けた)[6]。宇宙から飛来するプラズマ波動では磁場スペクトルの鉛直成分と水平成分の比 S_z/S_H (偏波と呼ぶ)が1よりかなり小さいことが予想されるが、地殻活動に起因するULF波動ではビオ・サバールの法則からも容易に $S_z/S_H \geq 1$ が予想される。

関東ULFネットワークで検出される地震は極めて少ない為、他のイベントを探すことが不可欠である。そこで、1997年3月26日および5月13日に鹿児島県北西部で発生したM6.5とM6.3の地震(ともに深さd=20 kmであった)を対象として、偏波解析を適用する[8]。これらの地震から距離約60 kmの鹿児島県垂水でフラックスゲート磁力計による3成分磁場観測が1秒サンプリングにて行われていた。ここで

は1996年8月から1997年9月まで約1年間のデータを示す。地殻活動とULF磁場変動の関係を明らかにするため、地磁気データから地殻活動に起因すると考えられる地磁気変化を抽出することが重要である。この為に、偏波解析を適用する[6]。偏波解析の手順を示す。(1)人工雑音および地磁気変動の影響をできるだけ小さくするために地方時午前0時から4時の夜間データを使用した。(2)データを30分ごとの8個のセグメントに分割し、そのセグメントごとにFFT解析を行った。(3)スペクトルの平均値および分散を求め、地震に関連するULF放射の主たる周波数領域を推定した。(4)地殻活動に起因すると考えられる地磁気変化を抽出するために偏波解析(S_z/S_G)を行った(図3中での S_G は水平成分(S_H , S_D)の合成($S_G^2 = S_H^2 + S_D^2$)の意)。この計算においては8個のセグメントから求められた平均スペクトルおよび平均偏波を1日の代表値とした。(5)得られた現象が局所的なものか地球規模のものをかを判別するためにリモートリファレンスデータと比較検討した。(6)平均スペクトルの平均偏波の時間変化と地磁気活動を表す指標である ΣKp と地域的な地震活動度と比較検討を行った。垂水観測点で観測された磁場変動の空間的広がりを見積もるため、1200 km離れた小笠原諸島・父島における地磁気3成分データと、垂水観測点の地磁気共役点であるオーストラリア・ダーウィン観測点の地磁気3成分データを調査した。これら二観測点をリモートリファレンスという。読者の中にはなぜ日本の地震を研究するのにオーストラリアのデータを参照したのかと疑問を持つ方もあるに違いない。地震に

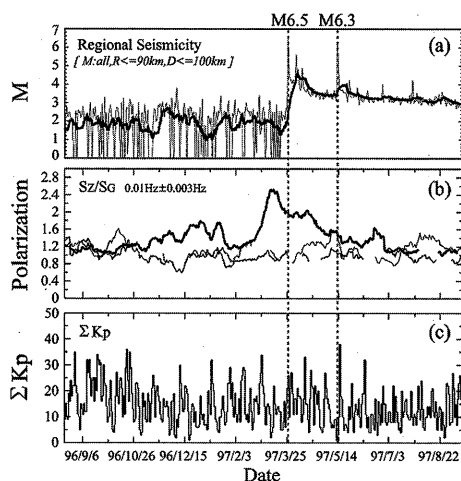


図3 垂水、父島、ダーウィン観測点のスペクトル解析結果(0.01Hzバンド)。(a)は地震活動を、(b)は偏波特性(S_z/S_G)を、(c)は地磁気活動(ΣKp)を示す。(b)で垂水の結果が太字で示されている。

Fig.3 Results of spectral analysis (S_z/S_G) at Tarumizu, Chichijima, and Darwin stations (0.01Hz). (a) Seismic activity, (b) Polarization (Tarumizu result in a full line) and (c) Geomagnetic activity (ΣKp).

関連するULF帯電磁放射の最大の雑音源は太陽活動に起因する地磁気変動である。この変動は磁力線の弦の振動のように伝搬し、その弦の両端(地磁気共役点)ではほとんど同じ地磁気変化が観測されるためである。これら3箇所では全く同じ磁力計が稼働していた。ちなみに解析期間では、父島観測点およびダーウィン観測点の周囲100 km以内では地震はほとんど発生していない。

図3(a)に垂水観測点の半径90 km以内の地震活動度(1日あたりの地震放出エネルギーを積算し、マグニチュード(M)に換算)を示した。図3(b)は3観測点の偏波(S_z/S_G)の10日間の移動平均(当該日の前のみ10日間の)をプロットしたもので、

太線が垂水である。(c)には地磁気活動度(ΣKp)を示した。図3(b)の点線は父島、ダーウインの変化を示しているが、両者は全期間を通して安定していることがわかる。それに対し、太線の垂水のグラフは特異な変動をしている。すなわち、最初の地震の前に通常レベルの1.0から2倍以上に増加している。その後減少が始まり、その減少が落ち着いたところで最初の地震が発生し、しばらくその値が継続している。再び減少が始まり、第二の地震が発生している。偏波は7月初旬には通常レベルに回復している。このような変動はダーウインおよび父島観測点では認められず、垂水観測点固有の変化である。垂水観測点周辺の地震活動のエネルギーを積算したグラフ(図3(a)のM)と偏波の結果を比較すると、1) 偏波の値が地震活動に先行して高まっていることと、2) その変動が地震活動度の変動と似ていることがわかる。このことは偏波の値が地域の地震活動度を表すパラメータである可能性を示唆し、しかも偏波の値の異常が地震活動に先行していることを示している。他方、地磁気活動度とは顕著な関係が認められない。

(2) 主成分解析

伊豆半島および房総半島で3成分磁力計3台を用いたアレー観測(50または12.5Hzサンプリング)を実施している。2000年6月末より三宅島で地震活動が活発化し、噴火活動が始まった。同時に三宅島だけでなく、その周辺でも極めて活発な群発地震活動が発生した。2000年6月から9月末までに周辺地域で発生した地震総数は12,000個を越えるという気象庁観測開始以来の著しい地震活動を呈するに至った。この地殻変動は我々が関東にULFネットワークを構築して以来最大の活動であり、関東ULFネットワークデータを使用する。ここでは主成分解析(Principal Component Analysis、PCAと略す)と呼ばれる手法を伊豆に展開している地磁気アレー観測のデータに適用した[9]。空間的に近接した地点に展開された3台の磁力計のデータを用いたため3組の(独立でかつ相関のある)データ群が存在し、原理的にPCA解析では3個の信号源に分離される。ある観測点で受信される地磁気変化は一般に、(1)磁気嵐などに起因する超高層(磁気圏・電離圏)の効果、(2)人工ノイズ、(3)それ以外のもの

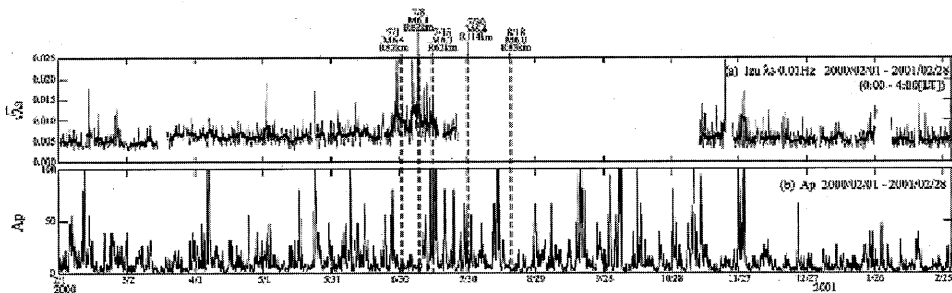


図4 3点アレーデータの水平南北成分を用いた主成分解析結果と地磁気活動度。(a)伊豆観測点の0.01Hzの解析結果。(b)地磁気活動度

Fig.4 Result of Principal Component Analysis (PCA) with use of the H component data observed at three stations. (a) Result of Izu array station (0.01Hz), (b) Ap index.

(地震活動に関連する地磁気変化を含む)の合成であると考えられる。各観測点の30分ごとの時系列データをもとに周期10秒ないし100秒の変化に注目して固有値解析を行い、その固有値 λ_n ($n=1\sim 3$)の時間変化を追跡した。その結果、第1主成分の λ_1 (第1主成分の電力を反映する)は(1)の太陽活動を代表する地磁気活動度指数 A_p と極めて良い相関を示した。第2主成分の λ_2 は24時間周期をもち、昼間大きく、夜間小さいという特徴から人間活動に起因するノイズと判断した。図4は第3主成分の λ_3 の時系列変化を示した。群発地震活動の始まる前の4月下旬から全体のレベルがやや上昇し、特にM6クラスの3つの地震の数日前から顕著に λ_3 の値が上昇していることが確認された。我々はこの変動が地殻活動起源のものであった可能性が極めて高いと考えている。固有ベクトルを考慮した解析でも前述の可能性を支持している[10]。以上の結果は、高度な信号処理が地震および火山噴火に関する地殻内電磁現象の研究にとって極めて重要な貢献をすることを示した。

(3) 新しい信号処理

新しい信号処理として、(1)フラクタル解析と(2)方位測定を挙げておく。まず、(1)のフラクタル解析の最新の結果を簡単に紹介する。地震発生の様な地圏内での非線形現象は自己組織化臨界概念(SOC、Self-organized criticality)にて説明出来ることがわかって来ている。このSOC概念がULF磁場データからも読み取ることが出来るのではないかと発想に基づいた解析がフラクタル解析である。グァム地震に対

してULF波形の周波数スペクトル $S(f) \propto f^{-\beta}$ (べき乗則)のスペクトル勾配(β)を初めて評価し、この β 値が地震の1ヶ月位前から1に近づき(フリッカー雑音)臨界状態に達することが明らかになった[11]。更に、フラクタル(モノ)解析での解析手法の改良やマルチフラクタル解析も発表し[12]、更なる前兆効果を得ている。我々の仕事に刺激され、この流れに沿った解析が近年流行している。

次に、(2)の方位測定について述べよう。前述の伊豆諸島群発地震に対して信号の到来方向を推定する方位測定を実施した。伊豆半島も房総半島も複数(3ヶ~4ヶ)の観測点が設置されていることは述べたが、複数観測点での磁界データに基づいてその磁界勾配を評価する方位測定を採用した。伊豆よりの測定方位と房総よりの測定方位との交叉法によりその発生位置を決定したが、この発生位置はその後の地震震央とほぼ一致した結果を得ている[13]。この様に雑音源を同定することは地震の前兆であることをより高い信頼度で言うことが出来る。最新の二、三の成果も述べよう。別の観測点中津川観測点の磁界3成分観測に基づいて、新潟中越地震に対して1ヶ月前に前兆ULF放射が発生していることを発見した。中津川観測点からのゴニオメータ方式の方位測定により雑音源が震央方向であることを確かめている[14]。更に、同観測点でのULF波ゴニオメータ方位測定によりインドネシアスマトラ地震の前兆の発見にも成功している。

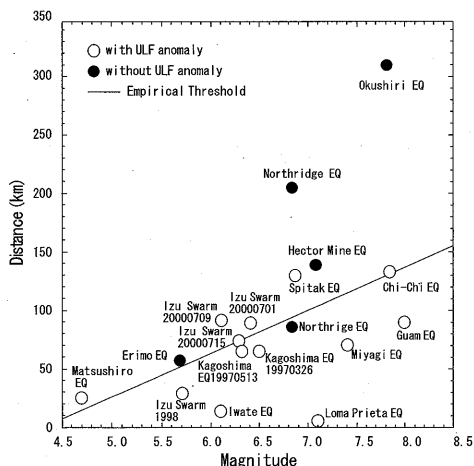


図5 地震の震央距離とマグニチュードとの関係。○は地震に先行する磁場異常を伴うケース、●は地震に先行する磁場異常を伴わないケースである。

Fig.5 Relation between magnitude and epicentral distance. ○ indicates an earthquake with ULF anomaly, and ● one without ULF anomaly.

2.4 ULF 帯での磁場変動発生メカニズム

ULF 帯の電磁放射に関して、地震前に震源付近で発生する応力変化に伴うマイクロフラクチュアリングによる電荷生成 (小さなアンテナの集合) というメカニズムが提唱されている [15]。モルチャノフらによれば、M6 で 60 km、M7 で 100 km 程度の距離まで ULF 帯域での磁場変動が地震に先行して観測可能であると報告されている。即ち、表皮効果により高周波数成分は地殻内部で減衰してしまうが、ULF 帯の成分は地殻を通過して地表まで到達すると考えられる。勿論別機構として、流動電位現象により ULF 放射が発生するという仮説も提案されている [16]。図5には、これまで報告されている地震に関連すると思

われる ULF 帯の磁場変動データの解析結果を示す。図中では、“地震前に前兆的磁場変化がある” 場合を白丸で、そうではなかったものを黒丸で示した。点線は経験的な検知可能レベルの目安であるが、この実験則は [7] の理論式とよく合致している。この図から観測点に近くて大きい地震であれば ULF 帯の変動を検出できる可能性が極めて高いことを示している。例えば M7 クラスの地震であれば、震央から 100 km 以内に観測点が存在すれば、地震に先行する ULF 帯の磁場異常を検知できる可能性の高いことがわかる。前述したスマトラ地震に伴う可能性の高い ULF 放射が日本国内で受信されたと述べたが、これは上記の感知距離に関する実験則とは全く矛盾する。この解釈としては、マグニチュードが異常に大きく、しかも浅い地震の為、ULF 波の発生域が地表近くで、発生後電離層と地表から成る導波管内を TEM モードにて 6,000 km 前後を伝搬してきたものと考えている。

2.5 将来の3成分磁場観測網の構築に向けて

現在、日本では気象庁地磁気観測所、国土地理院等で3成分磁場の連続測定が行われているが、サンプリングレートは1分に1データといったものが多い。大学等でもかなりの観測網が構築されているが、残念ながら固体地球物理学の分野ではプロトン磁力計による全磁力計測が主流を占めている。この磁力計は直流測定では優位であるが、ULF帯ではその性能が落ちる。磁場データを地震予知研究に応用するためには、(1) 3成分磁場測定データである事、(2) サンプ

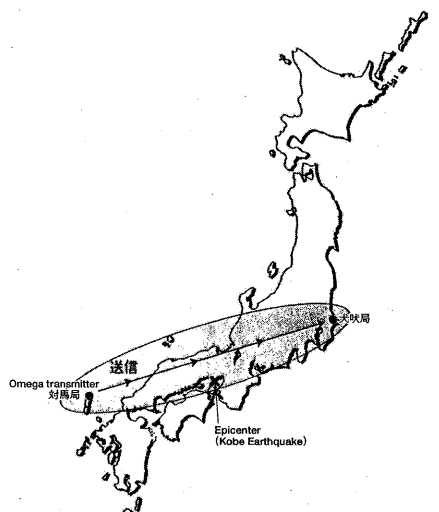
リングレートは毎秒1サンプリング以上、
(3) 分解能として10pT以下が望ましい。

また、磁場変動による地殻活動監視には地磁気活動／太陽活動をよく知る必要がある。規模の大きな地震の直前には地磁気変動のような変動があることもいくつかの例で見つかっており、信号の時空間的な特徴を正確に把握し、信号を弁別する上で衛星による宇宙からの監視と陸上からの監視をネットワーク化させることも必要である[17]。

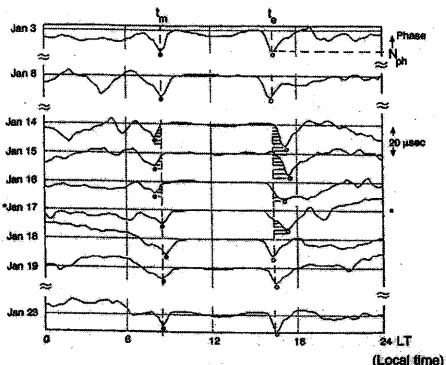
3. 電離層擾乱観測

3.1 VLF/LF 送信局電波を用いた電離層擾乱の観測

既存の送信局電波を用いて地震に伴う大気圏や電離圏の擾乱を検出しようとするものである。送信局電波を用いた能動実験の長所は送信点の諸特性（場所、送信周波数、送信出力等）が完全に把握されており、受信点（観測点）との間（大円という）のどこで発生する地震に対しても感知できる点である。前述したULF波観測は局所観測であり、主として観測点の近くにて地震が発生しないと、ULF波を受信することが出来ない。この為、今までに観測された事例は世界中のデータを集めても図5の如く、十数例に過ぎない。それに反して、送信局電波を用いた能動実験は積分観測と呼べ、事例数を蓄積することが極めて容易であるという重要な特徴を持っている。この能動実験は神戸地震後の旧宇宙開発事業団の地震リモートセンシングフロンティア計画（早川担当）にて多くの成果を収めた。高周波（VHF帯）での送信局としてFM放送波があり、見通し外でも受信されることが



(a)



(b)

図6 神戸地震に対するVLF伝搬（対馬オメガ局－犬吠観測点）異常の観測。(a)伝搬経路、(b)伝搬異常（ターミネータ・タイムの異常）。

Fig.6 Observation of anomaly in subionospheric propagation between the Omega (Tsushima) transmitter and the Inubo observatory for the Kobe earthquake. (a) Propagation path, and (b) anomaly in terminator time.

しばしばある。このような見通し外VHF波（FM放送波）に対する方位測定（八木アンテナを用いて方位角と入射角を決定する）から、この見通し外VHF波の受信は地震に伴う大気圏擾乱によることを初めて明らかにした[2]。以下ではVLF/LF伝搬に基づく電離層擾乱の事例を示す。

先ず、我々の神戸地震に対する電離層擾乱の発見を紹介する。本研究は前述したフロンティア計画直前の結果である。対馬にはオメガ局 (10、11、13kHz) 送信局が設置されており (航行用であったが、1997 年 9 月末に停波した)、その発射された電波は電離層・大地導波管内を導波管伝搬し、犬吠観測点 (当時通信総合研究所) にて観測された VLF データを用いて同研究所と共同にて解析した結果を示す [18]。図 6(a) は対馬一犬吠伝搬路を示し、この距離は約 1,000 km で、VLF 伝搬にとっては極めて短距離と言える。この様な短距離伝搬では多モードによる干渉により日出、日没において振巾、位相に最小となる時刻 (ターミネータと名付けた) が出現することが電離層・大地導波管伝搬理論から明らかとなっている。この日出、日没付近でのターミネータ・タイムが神戸地震に対して異常を示した (図 6 (b) を参照せよ)。この異常は地震の数日前から発生し、地震当日に消失した。日中が等価的に長くなっている事を示し、下部電離層が数 km 低下することにより説明できる [18]。本発見は地震に伴う電離層擾乱の初めての信頼できる結果として世界的に認められ、2004 年 6 月に打ち上げられた地震電磁気専用衛星 (仏国 DEMETER 衛星) のパンフレットの第 1 頁に図 6 (b) が引用されている。更に、本神戸地震も含め過去 13 年間の対馬一犬吠データにより 11 例 (マグニチュード 6.0 以上の) に対する解析から、浅い (深さ 30 km 以下) しかも伝搬路近くの地震の約 80% に対して電離層擾乱が発生することを確かめた [19]。天気予報よりもずっと高い確率であることを注目すべきである。

前述した旧宇宙開発事業団フロンティア計画ではこの VLF/LF 送信局電波を用いた電離層擾乱観測を最重要項目として位置付けた。

3.2 VLF 伝搬による電離層擾乱観測の現状と最新の結果

(1) 国内 VLF ネットワークの構築

図 7 は国内 7 観測点 (北から北海道母子里、東京調布、千葉館山、清水 (静岡)、春日井 (名古屋)、舞鶴、高知) をフロンティア計画にて設置し、各観測点では、(1) NWC 局 (オーストラリア西部、19.8kHz)、(2)

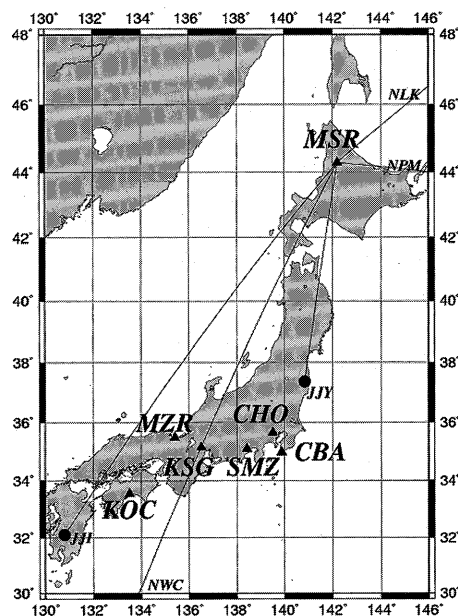


図 7 国内 VLF ネットワーク (電離層擾乱観測)。観測点は母子里 (MSR)、調布 (CHO)、千葉 (CBA)、清水 (KSG)、春日井 (SMZ)、舞鶴 (MZR)、高知 (KOC) である。各観測点では同じ VLF/LF 送信局を受信しているが、図では母子里だけに表示した (NLK、NPM、NWC、JJI)。

Fig.7 VLF network for observation of ionospheric perturbations. The network is composed of seven observing stations and 5 VLF/LF transmitter signals are received at each station.

NPM局(ハワイ、21.4kHz)、(3)NLK局(米国、24.8kHz)、(4)JJY局(福島、40kHz)、(5)JJJ局(九州えびの、22.2kHz)を同時受信している。多くのVLF/LF送信局電波の電離層・大地導波管内伝搬波の振巾と位相を各観測点では精度よく計測している。地震に伴う電離層擾乱観測では120秒(2分)のサンプリングとなっている。従来のVLF局電波観測システムでは一局だけを受信するシステムで1分サンプリングがほとんどであったが、我々のシステムでは次のような改良を行っている。複数局の同時受信と時間分解能を変化させること(50ミリ秒から120秒まで)を初めて実現している。7観測点と各観測点での5局のVLF/LF送信局電波の受信により、本国内VLFネットワークを用いてほぼ日本全域の地震に対応することが出来る。又、多くの伝搬経路での異常の出現(非出現)の比較により地震に伴う電離層擾乱域を100km程度の精度にて推定することも可能としている。

更に、外国との共同研究として、我々のVLF/LF受信器の設置要請があり、ロシア・カムチャカ、台湾、南ヨーロッパ(ギリシャ、イタリア)にも設置され、データが蓄積されている。特に、カムチャカ及びイタリアのVLF/LFデータでは日本以外の地震多発地域での地震に伴う多くの電離層擾乱の事例が示されている。

(2) 電離層擾乱の事例解析

フロンティア計画期間のみならず、現在までには多数の大きな地震が発生している。例えば、2000年鳥取西部地震、2003年十勝沖地震[20]、2004年紀伊半島沖地震、新潟中越地震[21]、2004年12月のイン

ドネシアスマトラ地震などがあり、すでにこれらの地震に対して明瞭な電離層擾乱がVLF伝搬異常(ターミネータ・タイムの異常、夜間振巾ゆらぎ)として発生していることを報告している。ターミネータ・タイムの異常は神戸地震の際に我々が発見したもの(図6)で、日出、日没での振巾、位相での極小を示す時刻が有意に変化することを利用するものである。他方、夜間振巾ゆらぎは夜間でのVLF/LF信号の振巾におけるゆらぎ量を積分した量が有意な上昇を示すことを利用するものである。本論文では最新の一例を示そう。図8は2004年12月26日にインドネシア・スマトラで発生した大地震(M9.0)に対する我々の結果である。図8(a)にて用いた伝搬路はオーストラリアの送信局NWC局と日本の国内三観測点(千葉、調布、高知)である。地震の円の大きさがマグニチュードに比例し、色は深さを表している。伝搬路長約6,000kmで、スマトラ地震の震央は大円より2,000kmほど離れており、通常(マグニチュード6~7では)では伝搬異常は期待できない。図8(b)が夜間のゆらぎ量(夜間の平均(たとえば当該日の前後10日間)振幅変化からのずれを夜間に渡って積分した量)を評価したもので、12月8日と12月21日~27日において著しいゆらぎの上昇(図8(b)にて矢印にて示す)を検出していることを示した[22]。即ち、12月8日の鋭いピークについては千葉と調布受信局にて $m+2\sigma$ (m :平均、 σ :標準偏差)を超えている。又、12月21日~27日の広いピークについても調布、高知にて対応する $m+2\sigma$ を超えるという異常である。ともにスマトラ地震の前兆的電離層擾乱と

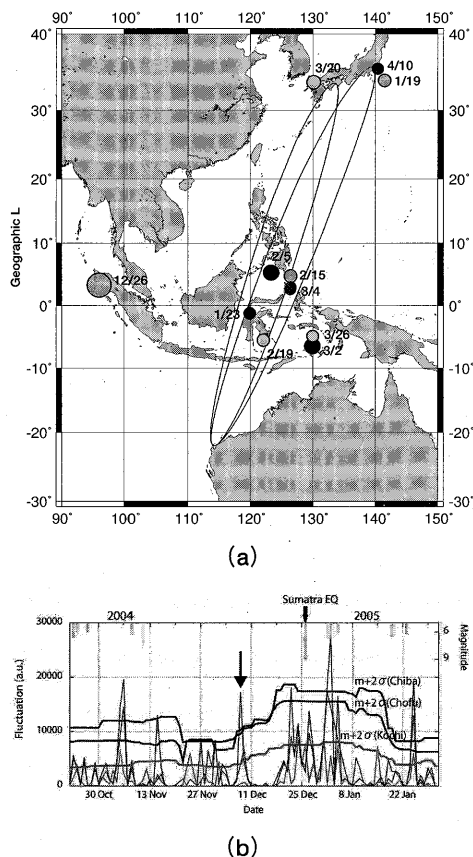


図8 インドネシアスマトラ地震に伴う電離層擾乱の検出 (日本とオーストラリア NWC 局の伝搬経路)。(a) 日本の VLF 観測点と NWC 局との伝搬経路とスマトラ地震の位置関係。(b) VLF 強度のゆらぎの変化。

Fig.8 Detection of ionospheric perturbations for the Indonesia, Sumatra earthquake. (a) Propagation path between Japanese VLF stations and the NWC transmitter, and (b) temporal evolutions of VLF fluctuations at three stations (together with their corresponding $(m+2\sigma)$ variations (m : mean, σ : standard deviation)).

予想される。事実インドネシアでの GPS 信号を用いた TEC (Total Electron Contents, 総電子数) 測定においても同日に有意な異常を見出しており [23]、我々の検出したものがスマトラ地震の影響である可能性が高いと結論される。

更なるデータ解析から VLF データのゆ

らぎのなかに波動構造が多く明瞭に認められ、国内多点観測点での詳細な解析からこれらの波動構造は震央から外へ伝搬することが判明した。その伝搬速度、周波数等からこれらのゆらぎ波動構造は大気振動 (大気重力波) によると結論した。

最後に、これら地上観測から得られた電離層擾乱の特性を人工衛星観測でも支持されたことを示そう [24]。表 1 にも示したように、電離層内での観測を行う人工衛星の重要性を指摘したが、用いたデータは仏国の衛星 DEMETER である。本衛星は地震電磁気研究専用の衛星として 2004 年 6 月 29 日に打ち上げられ、現在も順調に飛行している。筆者は本計画の当初から参加しており、そのデータを Guest Investigator として使用している。地上観測でもモニターしている同じオーストラリア NWC 局 (19.8kHz) の衛星上での受信強度を計測する。但し、本衛星は軌道要素の関係で、同一地点には昼間と夜間各一回通過するため、先ず夜間データを用いる。これよりもっと大きな問題は軌道が経度的に 2,500 km ずつもずれることである。そのため、多くのパスを利用する統計処理を施すことが不可欠となり、地震前一ヶ月 (2004 年 11 月 1 日 ~ 12 月 25 日) と地震後一ヶ月 (2005 年 1 月 6 日 ~ 2 月 15 日) での VLF 送信局電波強度分布を導出した。SNR は NWC 局電波の強度をその周辺の雑音 (背景) 雑音との比として表示している。図中の丸の大きさが SNR の大きさを表している。図 9 がその結果で、地震後の状態では SNR は数 10 を超えるのが普通で、空間的に特別の変化はなく分布している。しかし地震前には SNR の著しい減少が明瞭に認識さ

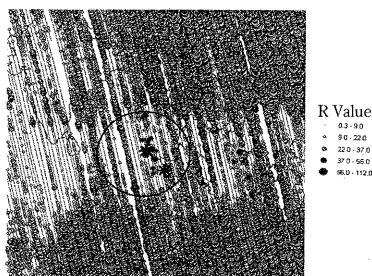


Fig. 4.30a. SNR values for the NWC VLF transmitter (19.8 kHz) from November 1, 2004 to December 25, 2004 before Sumatra earthquake.

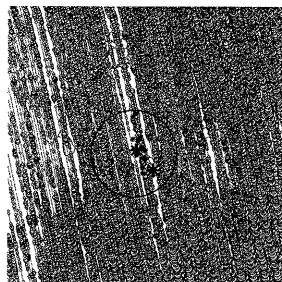


Fig. 4.30b. Same as in Fig. 4.30a but in a period from January 6 to February 15, 2005 after the Sumatra earthquake.

図 9 NWC 局電波強度の空間分布 (SNR として。即ち、送信局信号強度と背景雑音強度との比)。(a) は地震前 1 ヶ月のデータ、(b) は地震後 1 ヶ月のデータ。
Fig.9 Spatial distribution of NWC transmitter signal intensity (as SNR defining the ratio of signal intensity to the background). (a) Before the earthquake and (b) after the earthquake.

れ、更に、その空間的スケールは直径にして 5,000 km である [23] ことがわかっている。この結果は前述した国内からの地上 VLF 観測結果とはよく一致しており、地震に伴い下部電離層が大きく擾乱していることが結論される。衛星上での送信局信号強度の降下は、(1)地震に伴う下部電離層の異常電離又は下降による NWC 局送信局電波のホイスラモードとして伝搬する際の電波吸収の増加、ないし(2)地震に伴う電離層内での擾乱(乱流)と送信局電波との非線形三波波動・波動相互作用による共鳴散乱の可能性が示唆される。

(3) 統計解析

多くの事例解析に加えて、電離層擾乱と地震との因果関係を統計的にも我々は調べている。先ず、Rozhnoi ら [25] は日本の JJY 局をロシアカムチャツカ観測点にて受信した 2 年間にわたるデータを用いて、M5.5 以上の地震に対しては電離層擾乱を検出できることを報告している。又、国内での JJY 局一高知観測点間の伝搬パスに対して、6 年間のデータを用いて、Superimposed

epoch analysis により地震 (M5.5 以上) と電離層擾乱 (VLF 電界強度) との明瞭な因果関係を統計検定により確認している。これによると、地震による効果は(1)VLF/LF 局信号強度の減少と(2)夜間ゆらぎの上昇である。これらの効果は地震の 3 日～1 週間前後前に現れることがわかっている [26]。

3.3 地圏・大気圏・電離圏結合の解明に向けて

学問的には地圏の効果が如何に大気圏や電離圏まで影響するかという問題が注目され、我々が提唱した「地圏・大気圏・電離圏結合」という言葉は地震電磁気分野で一般的な言葉として近年定着している [17]。図 10 は早川らが提唱する、可能な結合機構である [27]。三つのチャンネルが考えられる。;(1) Chemical channel、(2) acoustic channel と(3) electromagnetic channel である。(1)の化学チャンネルは地震の前に地下からのラドン放出等により大気の導電率が変化し、それに伴う大気電界の変調が電離層擾乱を引き起こすとするものである。(2)の音響チャンネルは大気振動(主としては

大気重力波、大気音波)によるエネルギーの下部電離層への伝達によるもの。最後の(3)の電磁チャンネルは電磁波による結合で、地震前兆の電磁波(ULF波等)による下部電離層の直接的加熱・電離やULF波が磁気圏へ侵入し内部放射帯プロトンと相互作用し、電離圏へ粒子を降下させるなどとするものである。第三チャンネルは強度的に不充分であることを我々はすでに示しており、第一のchemical channelと第二のacoustic channelについての考察が重要になると思われる。我々を含め世界各国にて精力的にこちらの機構の追究が行われている[17]。

4. むすび

以上地震に伴う電磁気現象を記述してきたが、かかる電磁気現象は(1)地震の主として前兆として出現すること(前兆性)と(2)かなり深い震源での情報を地表や電離層へ伝達する(遠隔性)という二つの重要な特徴から、地震の短期予知に極めて有望なものと理解されよう。我々の研究を中心とした考察から、地震の短期予知の観点から(1)ULF放射と(2)VLF送信局電波による下部電離層擾乱が最も有望であると主張してきたが、この点は近年世界的に認知されつつある。勿論、観測的にも理論的にも解明すべき興味深い問題が多く残っており、多くの努力が望まれることはいうまでもない。

この分野の最新の流れとして注目されるのが衛星観測である。米国での小型衛星(Quake-sat)に続いて、仏国の地震電磁気専用衛星(DEMETER)が2004年6月末に打ち上げられ、良質のデータを獲得している。地震(また津波)に伴うプラズマ異常

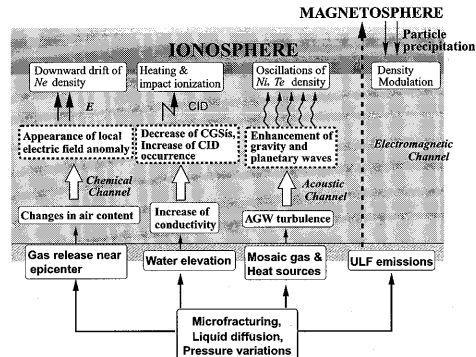


図10 地圏・大気圏・電離圏結合のメカニズム

Fig.10 Possible channels of the Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere (LAI) coupling.

や電波雑音の検出を目指している。地上観測との密接な連携により図10に示したメカニズムの解明に大きく貢献すると信ずる。しかし、筆者は地震電磁気研究では地上観測が第一義的に重要であり、衛星観測は第二義的な意味であると考える。

文献

- (1) M. Hayakawa, and Y. Fujinawa, Editors, "Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction", Terra Scientific Pub. Comp., Tokyo, p. 677, 1994.
- (2) M. Hayakawa, Editor, "Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes", Terra Scientific Pub. Comp., Tokyo, p. 996, 1999.
- (3) M. Hayakawa, and O. A. Molchanov, Editors, "Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling", TERRAPUB, Tokyo, p. 477, 2002.
- (4) A. C. Fraser-Smith, A. Bernardi, P. R.

- McGill, M. E. Ladd, R. A. Helliwell and O. G. Villard Jr., "Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7. 1 Loma Prieta earthquake", *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 17, p. 1465-1468, 1990.
- (5) O. A. Molchanov, Y. A. Kopytenko, P. M. Voronov, E. A. Kopytenko, T. G. Matiashvili, A. C. Fraser-Smith, and A. Bernadi, "Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of Spitak (Ms=6. 9) and Loma Prieta (Ms=7. 1) earthquakes: Comparative analysis", *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 19, p. 1495-1498, 1992.
- (6) M. Hayakawa, R. Kawate, O. A. Molchanov, and K. Yumoto, "Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993", *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 23, p. 241-244, 1996.
- (7) O. A. Molchanov, M. Hayakawa, and V. A. Rafalsky, "Penetration characteristics of electromagnetic emissions from an underground seismic source into the atmosphere, ionosphere and magnetosphere", *J. Geophys. Res.*, Vol. 100, p. 1691-1712, 1995.
- (8) K Hattori, Y. Akinaga, M. Hayakawa, K. Yumoto, T. Nagao, and S. Uyeda, "ULF magnetic anomaly preceding the 1997 Kagoshima earthquakes", in "Seismo Electromagnetics: Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling", edited by M. Hayakawa and O. A. Molchanov, p. 19-28, TERRAPUB, Tokyo, 2002.
- (9) K. Goto, Y. Akinaga, M. Hayakawa, and K. Hattori, "Principal component analysis of ULF geomagnetic data for Izu islands earthquakes in July 2000", *J. Atmos. Electr.*, Vol. 22, p. 1-12, 2002.
- (10) K. Hattori, A. Serita, K. Gotoh, C. Yoshino, M. Harada, N. Isezaki and M. Hayakawa, ULF geomagnetic anomaly associated with 2000 Izu Islands earthquake swarm, Japan, *Phys. Chem. Earth*, Vol. 29, p. 425-435, 2004.
- (11) M. Hayakawa, T. Itoh, and N. Smirnova, "Fractal analysis of ULF geomagnetic data associated with the Guam earthquake on August 8, 1993", *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 26, No. 18, p. 2797-2800, 1999.
- (12) Y. Ida, M. Hayakawa, A. Adalev, and K. Gotoh, "Multifractal analysis for the ULF geomagnetic data during the 1993 Guam earthquake", *Nonlinear Processes Geophys.*, Vol. 12, p157-162, 2005.
- (13) M. Hayakawa, and K. Hattori, "Ultra-low-frequency electromagnetic emissions associated with earthquakes", *IEEJ Trans. Fundamentals and Materials*, Vol. 124, No. 12, p. 1101-1108, 2004.
- (14) K. Ohta, N. Watanabe and M. Hayakawa, "The observation at Nakatsugawa of ULF/ELF emissions in possible association with the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake", *Earth Planets Space*, Vol. 57, p. 1103-1108, 2005.
- (15) O. A. Molchanov, and M. Hayakawa, "Generation of ULF electromagnetic

- emissions by microfracturing", *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 22, p. 3091-3094, 1995.
- (16) M. A. Fenoglio, M. J. S. Johnston, and J. D. Byerlee, "Magnetic and electric fields associated with changes in high pore pressure in fault zones: Application to the Loma Prieta ULF emissions", *J. Geophys. Res.*, Vol. 100, p. 12951-12958, 1995.
- (17) International Workshop on Seismo Electromagnetics, IWSE2005, Programme and Extended Abstracts, p. 492 (3. 2005).
- (18) M. Hayakawa, O. A. Molchanov, T. Ondoh, and E. Kawai, "The precursory signature effect of the Kobe earthquake on VLF subionospheric signals", *J. Comm. Res. Lab.*, Tokyo, Vol. 43, p. 169-180, 1996.
- (19) O. A. Molchanov, and M. Hayakawa, "Subionospheric VLF signal perturbations possibly related to earthquakes", *J. Geophys. Res.*, Vol. 103, p. 17, 489-17, 504, 1998.
- (20) A. V. Shvets, M. Hayakawa, and S. Maekawa, "Results of subionospheric radio LF monitoring prior to the Tokachi (m=8, Hokkaido, 25 September 2003) earthquake", *Natural Hazards Earth System Sci.*, Vol. 4, p. 647-653, 2004.
- (21) Hayakawa, M., K. Ohta, S. Maekawa, T. Yamauchi, Y. Ida, T. Gotoh, N. Yonaiguchi, H. Sasaki and T. Nakamura, "Electromagnetic precursors to the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake", *Phys. Chem. Earth*, vol. 31, 356-364, 2006.
- (22) T. Horie, S. Maekawa, T. Yomauchi and M. Hayakawa, "A possible effect of ionospheric perturbations for the Sumatra earthquake, as revealed from subionospheric VLF propagation (NWC-Japan)", *Int'l J. Remote Sensing*, in press, 2005.
- (23) J. Y. Liu, private communication, 2005
- (24) Molchanov, O., A. Rozhnoi, M. Solovieva, O. Akentieva, J. J. Berthelier, M. Parrot, F. Lefeuvre, P. F. Biagi, L. Castellana, and M. Hayakawa, "Global diagnostics of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio signals collected on the DEMETER satellite", *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 6, 745-753, 2006.
- (25) R. Rozhnoi, M. S. Solovieva, O. A. Molchanov and M. Hayakawa, "Middle latitude LF (40 kHz) phase variations associated with earthquakes for quiet and disturbed geomagnetic conditions", *Phys. Chem. Earth*, Vol. 29, p. 589-598, 2004.
- (26) Maekawa, S., T. Horie, T. Yamauchi, T. Sawaya, M. Ishikawa, M. Hayakawa, and H. Sasaki, "A statistical study on the effect of earthquakes on the ionosphere, based on the subionospheric LF propagation data in Japan", *Ann. Geophysicae*, Vol. 24, 2219-2225, 2006.
- (27) M. Hayakawa, "Electromagnetic phenomena associated with earthquakes: A frontier in terrestrial electromagnetic noise environment", *Recent Res. Devel. Geophysics*, Vol. 6, p. 81-112, 2004.

DGNSS を取り巻く世界動向

海上保安庁交通部計画運用課

ディファレンシャル GPS センター 浜岡 洋介

1 はじめに

海上保安庁が運用する中波によるディファレンシャル GPS システムは、1996 年 5 月 11 日にディファレンシャル GPS センターが発足し、1997 年 3 月 22 日に大王埼及び釧埼 D GPS 局 2 局の運用を開始し、1998 年 4 月 1 日から金華山他 11 局、1999 年 4 月 1 日から宗谷岬他 14 局が運用を開始して、日本沿岸海域をほぼ網羅したサービスの提供を行っている。

世界的な GNSS の動向としては、米国の GPS 近代化計画、EU（ヨーロッパ）の GALILEO 計画を始めとして目覚しく進展している。

本年 3 月、国際機関である IALA（国際航路標識協会）の R-NAV（電波航法委員会）が開催され、海上分野における DGNSS の将来に関する勧告案の作成等について討議され、当庁職員も参加している。

海上保安庁では、GNSS の近代化にあわせて、今後の DGNSS 整備について、検討を行っている段階である。

2 GNSS 及び DGNSS の現状

2.1 次世代型 GNSS システム計画の概要（民生利用についてのみ記述）は、次のとおり

① 米国の GPS 近代化計画

現状：L1 の 1 波のみによる完全運用体制（測位精度 95% 確率：20～30 m）

2012 年：L1、L2 の 2 波による完全運用体制（同上：5 m）

2015 年：L1、L2、L5 の 3 波による完全運用体制（同上：1 m）

② 欧州のガリレオ計画

2008 年：E5A、E5B、C1 の 3 波による完全運用体制（同上：4～6 m）

③ ロシアの GLONASS

現状：8 衛星程度が稼動中であるが、十分な利用ができない状況（同上：60m）

2006 年：軌道上の衛星を 18 基に増加（同上：30 m）

2010 年：GPS との連携による次世代型衛星の再配置計画（24 基体制）（同上：5～8 m）

④ 日本の準天頂 GPS 補強測位システム（DGNSS）

2008 年に 1 基、2009 年に 2 基の打ち上げが予定されている（同上：サブメートル級）

次世代型 GNSS システム計画年表

[illegible]

GNSS (GPS) と DGNSS (GPS) の流れ

GNSS (GPS) の流れ		DGNSS (DGPS) の流れ	
1967	NNSS 利用可能	1983	RTCM-SC104 設置
1978 ~ 1985	GPS ブロック I 衛星	1986	USCG、実験局設置
1992	GPS、ICAO に開放	1992	ITU 勧告 (IALAGPS)
1995	GPS 民生開放	1996	ITU 勧告 (DGNSS)
1996	NNSS 解役	1997	米国 DGPS 運用開始
2000	SA 解除		我が国も整備開始

2.2 国連機関、各機関等における DGNSS

検討体制は、次のとおり

① 国際機関

- UN (United Nations 国際連合)
- ITU (International Telecommunication Union 国際電気通信連合)
ITU-R (無線通信研究部会)
利用周波数の配分 RTCM SC-104 伝送フォーマット
- IMO (International Maritime Organization 国際海事機関)
COMSAR: Radiocommunications and Search and Rescue (無線通信・搜索救助小委員会)

10m 以下の位置情報の提供

インテグリティ情報は、10 秒以内に

- ICAO (International Civil Aviation Organization 国際民間航空機関)
次世代航空システム特別委員会 (FANS 委員会)
新 CNS/ATM 構想
- ② IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)
R-NAV [電波航法委員会]
伝送フォーマットの変更 (1 m 未満の位置情報の提供)

電子海図表示情報システム・電子海図システム及び AIS (船舶自動識別装置)

2.3 各国における DGNSS の運用部署及び整備状況は、次のとおり

① 米国

国務省 PNT (Positioning Navigation & Timing) 執行委員会

FRP (Federal Radio navigation Plan 連邦無線航法計画)

海上無線技術委員会 RTCM SC-104 伝送フォーマット

② ロシア

ロシア連邦航法研究所 (ロシア電波標識及び標準時研究所)

GLONASS の整備 (新衛星打ち上げ)

③ ヨーロッパ

EU 欧州委員会

Galileo の構築 (1 号機打ち上げ Soyuz 利用 2005.12.28)

④ 中国

海事局 (航標測絵課)

DGPS センターの設置

⑤ 韓国

海洋水産部 (安全管理室 航路標識担当官室)

NDGPS の構築

3 ディファレンシャル GNSS の将来に関する IALA 勧告 (2006.3)

国際航路標識協会 (IALA) 第 23 回 R-NAV 委員会において、将来の DGNSS に関する勧告案策定のための作業部会 (WG) の開催が提唱されて、IALA 理事会において承認され、3 月 14 日から 16 日までイギリス・ロンドンのトリニティーハウ

ス (英国灯台総局) において、当該 WG が開催されました。

WG において、「ディファレンシャル GNSS の将来に関する IALA 勧告 (案)」を作成、IALA の DGNSS を IMO における WWRNS (世界的電波航法システム) として認定を受けるためのテンプレート及び SOLAS 船への DGNSS 受信機の搭載義務化提唱のためのテンプレートが準備された。

ディファレンシャル GNSS の将来に関する IALA 勧告 (案) の内容は、次のとおり。

理事会は、航行の安全、効果的な海上輸送、環境の保護を重んじる IALA の機能に留意し、また、海上における将来の GNSS のための政策に関する IMO 決議 .915 (22) 及び世界的な電波航法システムに関する IMO 決議 A.953 (23) に留意し、さらに 283.5-325kHz の周波数帯域におけるディファレンシャル GNSS 業務が、関連する ITU-R 勧告や IMO 決議に記載された最低限の要件に適合し続けることを確実にする必要性を認識し、

① 数カ国の IALA 会員国においてディファレンシャル GNSS を提供している装置の換装が必要になっていること。

② 現在の業務が IMO 決議 A.915 (22) に記載された用途すべてに提供しなくなること。

e-Navigation (高度化航法) 検討会で作成された提案書を考慮しつつ、当該勧告書の添付物に述べられた「IALA の DGNSS の将来」のために提案された戦略を採択する。

そして、当該勧告書の添付物に述べられた

戦略を実施するために、283.5-325kHzの周波数帯域幅において、DGNSS業務の提供、または、提供する意思を持つ国家会員及びその他適切な機関に勧告する。

勧告案には、次の「IALAのDGNSS（ディファレンシャルGNSS）の将来のための戦略」が添付物されている。その概要は、次のとおり。

IALAのDGNSS（ディファレンシャルGNSS）の将来のための戦略

3.1 はじめに

IALAのディファレンシャルGNSSのビーコンシステムは、1990年代に開発され、1995年～2000年にかけて、多くの国々に設置された。

当該システムは、世界的な航法衛星システム（GNSS）に対する差分補正値を提供することで、世界的な海上における基準として採用された。

IALAの電波航法委員会（R-NAV）では、システムの現状と利用可能性を評価し、

IMO決議A.915（22）に従って、現在の利用者の利益のために、当該システムを再社会資本化すると共に、展開し、さらに、技術的な改革を考慮してGNSSの将来性を強化するための要求があることを結論づけた。

3.2 代替技術

ディファレンシャル業務に関連した安全性の提供について、IALAビーコンシステムに対する代替システムが考えられる。

- ① 静止衛星型GPS補強システム（SBAS：WAAS、EGNOS、MSAS）
- ② 船舶自動識別装置（AIS）
- ③ リアルタイムキネマティック（RTK）
- ④ 高度化ロラン（e-Loran）
- ⑤ スードライトを含む高度化された業務の提供

重要な費用対効果の分析を実施した。その概要は次のとおり。

System (システム)	Accuracy (精度)	Coverage (有効範囲)	Integrity (インテグリティ)	Continuity (継続性)	Cost to Provider (提供者の経費)	Cost to user (利用者の経費)	Marine Standards (海事関連基準)
IALA DGNSS	1-3m*	local/regional (特定区域/地域的)	yes	high	moderate (中間)	low	yes
SBAS	2-5m*	regional/global (地域的/世界的)	yes	high	very high	low	No
AIS	1-3m	local (特定区域)	? (中間)	moderate	low	low	yes
Pseudolites (スードライト)	sub-metre (1m以下)	local	yes	moderate	high	moderate	No
e-Loran	1-3m	regional (地域的)	yes	high	low**	moderate	No
RTK	sub-metre	local	? (中間)	low	moderate	high	No

記号 *：高度化した場合 **：ロランシステムが利用可能な場合

?：システム実施の状況により異なる

注 「スードライト」とは、衛星系の信号と同様な信号を送出する地上系の送信機を意味する

3.3 DGNSS の将来に影響を及ぼす要素

IALA のビーコンによる DGNSS は、現在でも海上での利用に、かなりの適用性があり、特に、現存の基盤整備施設の再利用として利用できる。

しかしながら、当該システムの将来に関する決定への時間が迫ってきている。

検討が必要な要素には、装置の利用年数についてであり、即ち、当初のコンピュータや通信装置は、すでに時代遅れとなっており、相当の件数の換装が行われてきている。

将来の GNSS についての IMO の要件は、すべて、現存のシステムでは適合することが出来ない。

新技術の出現に伴い、従来のディファレンシャル GNSS システムを設定した方法の見直しが必要になっている。

例えば、基準局やインテグリティモニター用に、特別かつ専用に製作されたハードウェア装置の代わりに、基準局やインテグリティモニター用として、ソフトウェアを組み込んだ既製品の受信機を検討することの方がより費用対効果があるかもしれない。

3.4 将来への展開のためのオプション

何も行動を起こさず、決定を遅らせば、当該システムが欠くことができないものとなった場合には、再整備や換装がとても困難となり、かつ高額なものとなる。

このシステムが同様の構成をもって近代化されたとしても、潜在的供給者がなく、将来のニーズにも適用していかないかもしれない。

これは、特化されたアプリケーションに

適用するための追加システム増加につながる。

コアである GNSS において、将来の要求と変化に対応するための開発（発展）は、現存する基準との互換性や要求への追従を維持しながらも、広範囲なアプリケーションに適応する単一の統合システムに終着する戦略となりそうである。

3.5 再資本整備計画の要件

IALA DGNSS サービスを再資本計画のための基本的要件と原則は、次のとおり。

- ① 従来からの信号の維持
- ② IMO 将来要件への適合
- ③ 国際的適応性
- ④ 追加メッセージ送信能力
- ⑤ 最低 10 年の寿命（有効期間）

3.6 新技術オプション

既存のサービスが国際要件に応じ得ない当てにならないものになることを防ぐために、行動を起こさなければならない。

ある時点で、IALA DGNSS システムを廃止することが決定された場合、ユーザーが代替技術（システム）は移行できるよう、少なくとも 7 年のリードタイムが要求される。

少なくとも考慮されるべき他の 3 つのオプションは、この場で検討され、今後の調査（検討）は、最高の選択がなされることを可能とするものである。

3.6.1 RSIM ソフトウェア基準局、インテグリティ監視、通信、制御を位置と時間の入力がある市販の GNSS 受信機を用い、ソフトウェアで実施することである。

3.6.2 バーチャル監視

バーチャル基準局 (VRS) ネットワークを開発し、補正值とインテグリティメッセージは、地方の受信機にて提供されたデータを中央局で計算し、回線を使ってデータ通信するものである。

3.6.3 SBAS の統合

WAAS や EGNOS などの既存の SBAS の統合がローコストへの解決策となるかもしれない。

3.7 性能強化

再資本整備計画実施は、少ない追加予算で、レベル強化が出来なければならない。強化された性能には、港湾入港時や着岸時または他の特定の状況におけるオーダーに適應するため、複数の GNSS において 1 m 以下の精度のサービス提供を行う追加メッセージの送信を可能とする能力を備えるべきである。たとえこれらの信号が数年間完全には利用できないとしても、ガリレオ、GLONASS と GPS L2C と L5 のためのメッセージ提供能力は備わるべきである。

従来のデータチャンネルと新しいデータチャンネルの両方に適應可能なハイブリッドデータリンクが採用されるであろう。例えば、従来のサービスにおける 50-200 ボーの低速度チャンネルと新しい高速度チャンネルで、RTK 監視、詳細な対流圏と電離層モデル、正確な軌道データ、緊急にメッセージなどを送ることが可能となる。

レンジレートコレクション (RRC: レンジ値補正) は除去されて、20% のデータ量を減らせる。高いレベルの完全性警告メッセージは、最小限の時間で警告が出される

よう、検討すべきである。

サービス管理者の最高のアプローチは、実施策を明記するよりはむしろ、パフォーマンスレベル (正確さ、有効性、完全性、連続性) を述べることであろう。

3.8 DGNSS Network 技術

DGNSS ネットワーク化のために、さまざまな技術が検討されている。広域ネットワーク構築は、新技術の部で検討されたように SBAS 統合を必要とする。

その中波局が、基準局を必ずしも備える必要性はない。

代わりに、中波局がある施設からではなく、複数の基準局で測定されたデータから、編集された SBAS (例えば、WAAS) メッセージで提供されることとなる。

その中波は、現在の放送標準の展開版を使用して、このメッセージを送ることとなる。

ユーザーの受信機へのハードウェアの変更はないが、そのソフトウェアは、現在のところ、関連 GNSS 受信機に、RTCM を送り出すように進められている。

利用者受信機のハードウェアにおいては、変更はないが、ソフトウェアは関連 GNSS 受信機へ結合されるようにする。この場合、中波は、静止衛星の代替システムになるかもしれない。

利用者受信機のハードウェアは、この新しい伝達方法に対応するために変更せざるを得ないが、ソフトウェアは RTCM 出力を生み出すために、通常の WAAS または EGNOS による運用が可能となるであろう。

3.9 今後の作業

強化された将来のシステムを国際的に受け入れられるようにするための提案書を作成する前に、更なる調査が必要となってくる。

特に、DGNSS ネットワークの適用の利点と、欠点を検討する必要がある、さらに新しい変調技術が評価されねばならず、また新しいメッセージタイプに同意され、かつ標準化されなければならない。

3.10 国際標準

どのような策が採用されようとも、現在のサービスが海上用の標準であることから、国際的な必要条件を満たさなければならない。

システムの技術特性と、周波数割り当てへの変更は、ITU による同意を必要とし、メッセージフォーマットは通常 RTCM によって開発、承認された後、ITU 勧告として修正される。

運用要件や受信機の性能基準は IMO の承認を得なければならない。
システムの性能基準や運用要領は IALA によって対処され、そして、IEC は受信機の試験仕様を作成する。もし、主要な規則の変更が現行システムに影響するとなれば、今後数年間を、規則の準備に費やせねばならない。

国際的な規格が満たされる限り、技術開発を分割することに利点があるかもしれないが、設置の正確な方法は各国の管理者の決定に委ねられている。

DGNSS は、IMO SOLAS 条約下で義務的な搭載要件としてはまだ認められていない。また、大部分の国は、それらの

DGNSS を広域電波航法システム (WWRNS) の構成要素として提出していない。

これらの問題は、さまざまなシステムの技術の見直しと平行して対応していかなければならない。

3.11 結論

3.11.1 IALA 会員は、性能を高度化し、かつ将来の海上要件に見合うように、DGNN 業務の技術の再考計画を検討すべきである。

3.11.2 IALA DGNSS (ソフトウェア RSIM、VRS と SBAS 統合) のための代替案の実施可能性が検討され、コストを見積もらなければならない。

3.11.3 どのオプションが選ばれても、それは「5 再資本整備計画の要件」で述べられる最小限の必要条件を満たさなければならない。また、「10 国際標準」で言及される標準に従わなければならない。

3.11.4 ガリレオ、GPS L2C/L5 と Glonass M に関する追加メッセージの提供を要する見込みのものを、考慮に入れなければならない。

3.11.5 メートル以下の精度を得られる信号を提供することの実現可能性が、調査されなければならない。

3.11.6 ネットワーク・ステーションの長所を、検討する必要がある。

3.11.7 追加インテグリティメッセージの可能性を、考慮せねばならない。

4 海上保安庁が DGPS を整備・運用している理由

4.1 GNSS の技術要件

GNSS の技術要件は、次の IMO 決議で規定されている。

① 2001 年 IMO 決議 A. 915 (22)「海上ユーザーが必要とする最低要件」

- 精度 10 メートル (港域は 1 メートル)
- 警報 10 秒以内
- 利用率 99.8% / 月
- 連続性 99.97% / 3 時間
- 測位間隔 毎 1 秒

② 2003 年 IMO 決議 A. 953 (23)「世界的電波航法システム」

- 補強システムを含めた電波航法システムの位置情報

95% 確率で 10 m 以内 (外洋では、100 m 以下)

- データの更新間隔 10 秒以下 (AIS は、2 秒以下)
- 利用率 99.8% / 2 年
- システム安定率 99.97% / 3 時間以上
- 警報 10 秒以内

4.2 無線設備の搭載義務

① 船舶安全法第 4 条において、一定の船舶に対し電波法に依る無線電信又は無線電話施設の強制義務がある。

② SOLAS 条約 (1974 年の海上における人命の安全のための国際条約) 附属書第 V 章 (航行の安全) において、一定の船舶に対し GMDSS、AIS の搭載義務が課せられている。

③ 国内関連法規では、船舶設備規程 (省令) で一定の船舶に対し GMDSS、船舶自動識別装置、衛星航法装置、無線航法

装置の搭載が義務化されている。

4.3 無線設備搭載義務等に関連する施設の整備

1999 年の GMDSS 完全施行により、船舶は中波の聴守義務が無くなった。

これにより、救難用の陸上中波設備は不要となり、中波標識局も近々廃止され、今後は中波による DGPS のみの運用となる。(本年 12 月予定)

海上ラジオビーコン用に割り当てられた周波数を用いた中波による DGPS は、IALA により勧告 (R-121) されているが、IMO の採択には至っていない。IALA では、2006 年 3 月に RNAV 委員会に WG を設置し、中波による DGPS を含めた DGNSS の採択の検討に入り、IMO へ付する予定である。

4.4 DGNSS の整備理由

① IALA 勧告 R. 129 において、GNSS のみに依存することの危険性が提起されていること。

- 米国一国による運用
- 妨害波に対する脆弱性
- 困難な保守性
- インテグリティ情報の欠落

② 補完システムとしてのメリットは、高精度 (対 AIS、ECDIS) であること。

4.5 DGNSS の整備状況

① 海上用中波帯周波数は指定されており有効利用が可能であるため、中波 (IALA DGNSS) による DGPS システムが全世界で運用されている。

② VHF (AIS) により、GPS 衛星の補正データが伝送されている。

- ③ 欧州では、Loran-C (Eurofix) により、GPS 衛星の補正データが伝送されている。

Loran-C システムは、衛星航法システムのフェール・セーフ機能の役割を果たすため、日本を含めた各国で運用されている。

- ④ 航空機については、静止衛星 (WAAS、EGNOS) による GPS 衛星補強システムが運用されている。

日本における将来の DGNSS システムとしては、衛星 (準天頂、MSAS) がある。

また、今後 e-Navigation システムの整備が提唱されている。

E-Navigation は、次のとおり定義される。

- ① 航行情報を電子フォーマットで送信、受信、表示することを総称して E-Navigation という。
- ② 航行の安全及び効率的運航のため、海

上における運航上の誤認や事件、事故の減少を目指す。

- ③ 補完的バックアップシステム (DGNSS、Loran-C 等) を配備した衛星測位システム (GPS、ガリレオ)、高度電子海図システム (ECDIS)、VTS、AIS、GMDSS 等で構成される。

4.6 海上分野における DGPS システムの利用実態 (日本船)

平成 15 年調査時、DGPS 受信機販売台数は 107,650 台。

平成 16 年調査時の全船種搭載率は、表 1 のとおり。(DGPS : 22.5%)

ただし、全隻数 498,067 隻のうち調査隻数 3,936 隻での推定値。

全船種搭載利用率 (搭載受信機等を実際に利用している状況) は、表 2 のとおり。

表 1 全船種搭載率

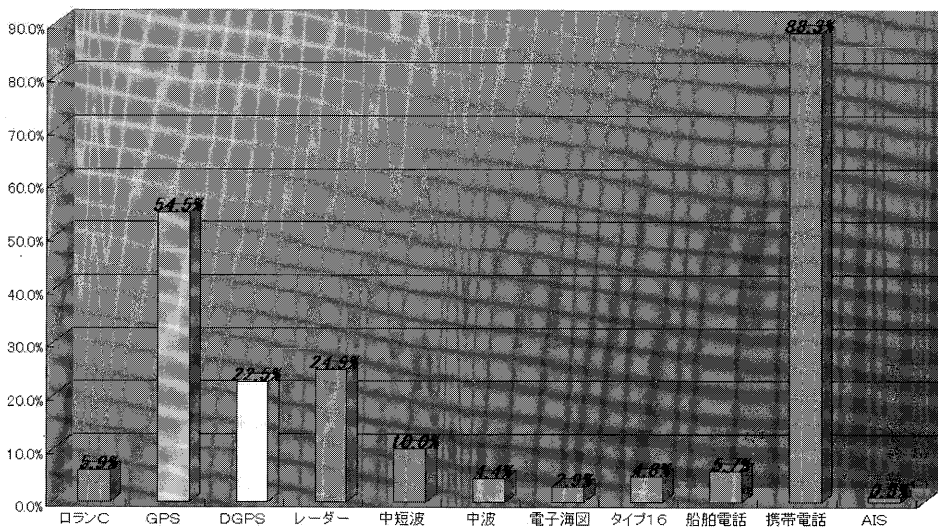
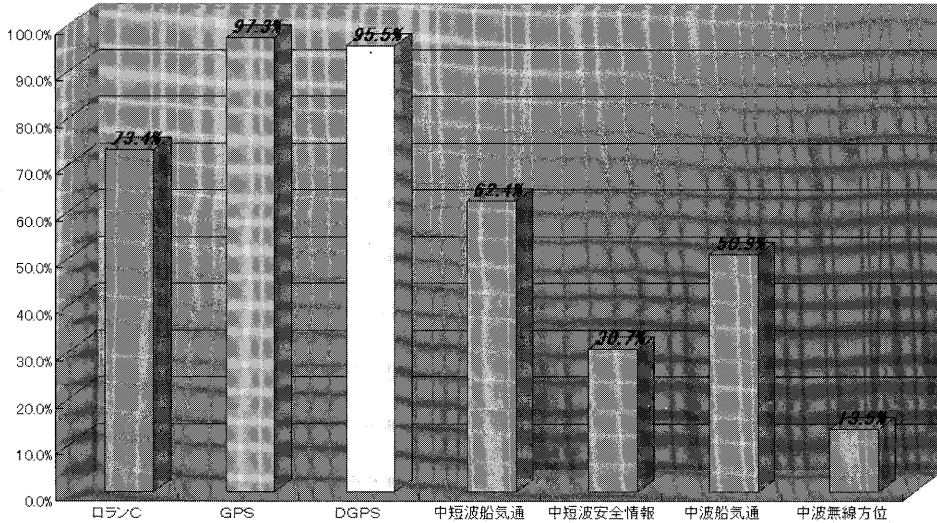


表 2 全船種搭載利用率



4.7 海上分野における DGPS システムの利用実態 (外国船籍船)

平成 15 年調査時、外航船入港隻数は 113,953 台である。(500GT 以上隻数、港湾調査年報による)

外航船の無線設備の搭載は、SOLAS 条約 (1974 年の海上における人命の安全のための国際条約) 附属書第(Ⅷ)章 (航行の安

全) により、AIS、GNSS の搭載義務化されている。

5 海上における DGNSS の検討

5.1 我が国の DGNSS 全体の今後の見通し

我が国の DGNSS の現状の測位サービスは、次表のとおり。

対象	運営主体	種類	基準局 / 送信局	利用料金	精度	その他
航行船舶	海上保安庁	DGPS	27/27 (中波ビーコン)	無料	基準局で 0.5m 程度	
カーナビ	(株)GPex	DGPS	7/41 (FM 多重放送)	端末に課金 (500 円程度)	1 m 程度	
海上港湾 建設工事	海上 DGPS 利用推進協議会	DGPS/RTK	16/ 移動無線 センター	200 万円 / 年	DGPS で 1 m 程度	
測量	(株)ジェノバ	VRS/DGPS	931 (国土地理院) / 携帯電話	DGPS で定額 10,500 円	DGPS で 0.5 m から 5 m 程度	
測量	日本 GPS データサービス(株)	VRS/DGPS	931 (国土地理院) / 携帯電話	DGPS で定額 12,000 円		

5.2 我が国の DGNSS の今後の測位サービス

我が国の DGNSS の今後の測位サービスとしては、次表のとおり。

MSAS	国土交通省 航空局	広域 DGPS	8/MTSAT		2006 年秋運用
準天頂衛星	測位補完－官 測位補強－民			官－無料 民－有料	2008 年打ち上げ 2012 年実運用予定

各分野における今後の見通しは、次のとおり。

① 陸上分野

カーナビ、測量、安心安全等多分野における高精度測位サービスのニーズとしては、2012 年頃から準天頂衛星システムによる測位補完補強サービスが提供される予定である。

② 海上分野

IMO 決議による国際標準の現状システムを GPS の近代化、ガリレオ、GLONASS に対応すべく IALA・R-NAV で検討中である。

③ 航空分野

MSAS が 2007 年春から運用される予定（米国航空局が運用する WAAS、EGNOS を統合したガリレオとの相互運用性を有する。）

- 平成 17 年度 伊勢湾、備讃瀬戸、関門海峡各海上交通センター運用開始
- 平成 18 年度 名古屋港、来島海峡各海上交通センター運用開始
- 平成 19 年度 大阪湾海上交通センター運用開始（予定）

② DGPS 局で作成した補正データが AIS でも有効利用されている。

③ AIS システムは日本沿岸海域全てを網羅する計画である。

5.4 DGNSS の今後の整備

海上保安庁が今後 DGNSS の整備を行うためのコンセプトは、次のとおり。

- ① IMO 批准国としての義務
- ② 船舶設備規程（省令）への対応
- ③ 単一システムへの依存度を相対的に低下させる
- ④ IALA 加盟国としての国際協調

5.3 AIS システムとのリンク

AIS システムとのリンクについては、海上保安庁が運用している海上交通センターで一部運用を開始しており、今後、順次整備する予定である。

① AIS 情報の中のメッセージタイプ 17（DGPS 補正情報）を使った情報提供を行っている。

- 平成 16 年度 東京湾海上交通センター運用開始

IALA 方式次世代型 DGNSS への移行するための検討課題は、次のとおり。

- ① 機器換装計画の立案
- ② 周波数再編等を含む全体システムの設計（GALILEO 対応も考慮）
- ③ AIS ユーザー（Class A & B）急増への対応（補正及びインテグリティ情報の提供）
- ④ フェール・セーフ機能の欠如
- ⑤ ユーザーへの長期計画提示

(参考) e-Loran の検討状況について、注視していかなければならない。

5.5 IALA 方式次世代型 DGNSS

IALA 方式次世代型 DGNSS (R-NAV23 の内容) は、次のとおり。

① RRC の削除

- データ容量が 20%削除される
- ガリレオ等の補正データを追加する
- 補正情報の一括伝送(タイプ 1)により精度が向上する

② ガリレオ、Glonass-M、L2C/L5 の補正データ追加

- ガリレオ、Glonass-M の補正データの追加により利用者の拡大が見込まれる
- L2C/L5 の補正データの追加により、精度が向上する

③ 周波数、変調方式の変更

- データエラーの防止及び伝送速度が向上する

④ 補正データ算出、インテグリティをパソコンで処理

- 生産が中止されている IM、RS 受信機の代替策が可能となる
- 新機能の追加がソフトウェア改修により可能となる

5.6 IALA 方式次世代型 DGNSS(R-NAV23 新システム) を DGPS センターで導入する場合の対応

① ガリレオ、Glonass-M、L2C/L5 の受信機を霞ヶ関に整備、データ解析用パソコンを追加

② DGPS 送信局で受信したガリレオ、Glonass-M、L2C/L5 のデータを評価するため、ソフトウェアの改修

③ 周波数、変調方式の変更については、DGPS 送信局の送信機改修に伴い、遠隔操作作用のソフトウェアの改修

④ DGPS 送信局で補正データ算出、インテグリティをパソコンで処理する場合は、遠隔操作作用のソフトウェアの改修

6 海上保安庁の DGPS システムの運用状況

6.1 GPS 特異事象

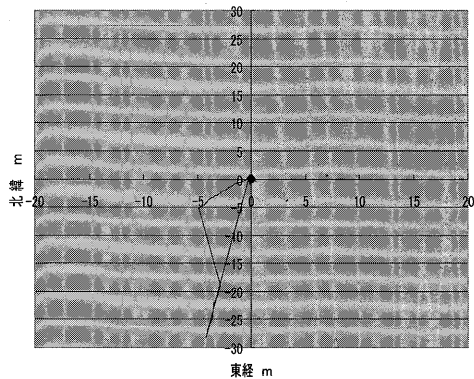
過去に、GPS 衛星の動作が異常となり、DGPS システムへ影響を与えた事例を紹介します。

① PRN#23 衛星の影響による事例

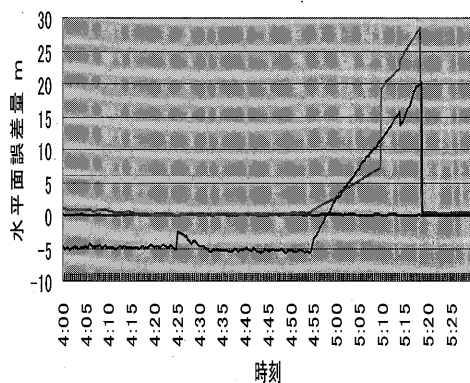
- 発生時刻 2004.1.2 3:31 ~ 6:19 (2h48m) JST
- 発生原因 衛星時計(ルビジウム)が最大周波数偏移 371Hz に変化
- 発生状況 (全局) DGPS システムにおいて位置誤差大が段続的に発生
全衛星で擬似距離補正值 (PRC 値) が徐々に -10,485.8 m まで変化
5:10 ~ DGPS 補正データ未送出
- 復旧措置 6:19 衛星からの電波が強制的に停止され、復旧
ユーザー受信機では、時計のズレが発生し、最大で数 100 km の位置誤差が発生した。

② PRN#27 衛星の影響による事例

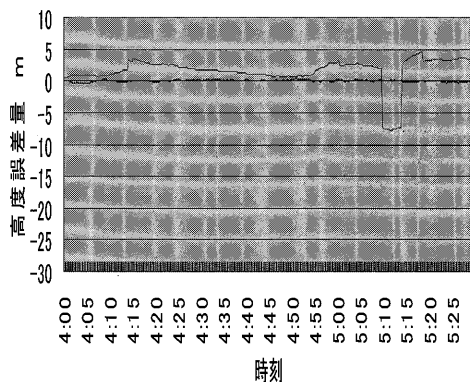
- 発生時刻 2005.5.15 4:55 ~ 5:18 (23 m) JST
- 発生状況 (慶佐次局) 位置誤差は発生なし
擬似距離補正值 (PRC 値) + 20 m まで変化
- 復旧措置 5:18 衛星からの電波が強制的に停止され、復旧



慶佐次局の受信データ (PRN#27 衛星の影響)
5月15日4:00～5:30



慶佐次局
水平面位置誤差とPRN#27衛星PRC値
H 17年5月15日4:00～5:30



慶佐次局 高度誤差
H 17年5月15日4:00～5:25

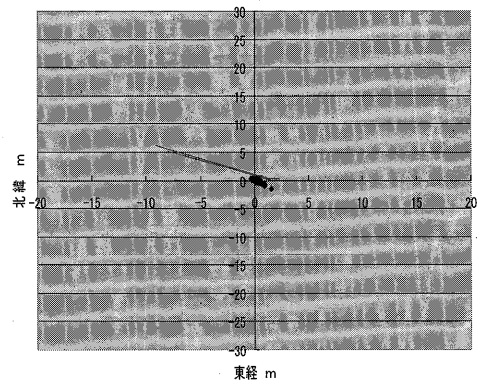
③ PRN#25 衛星の影響による事例

●発生時刻 2005.12.26 6:05～6:30
(25 m) JST

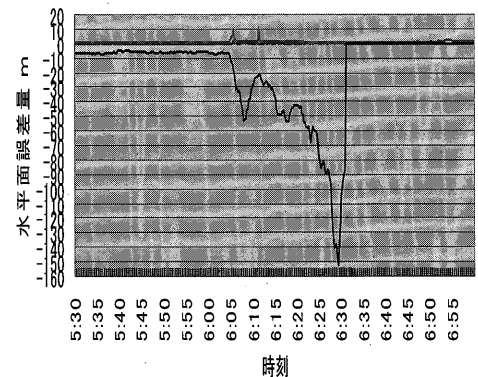
●発生状況 (慶佐次局) 位置誤差大が
短時間発生

擬似距離補正值 (PRC 値) - 160 m
まで変化

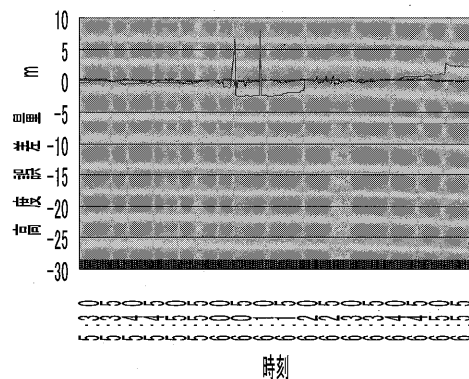
●復旧措置 6:30 衛星からの電波が
強制的に停止され、復旧



慶佐次局の受信データ (PRN#25 衛星の影響)
12月26日5:30～7:00



慶佐次局
水平面位置誤差とPRN#25衛星PRC値
H 17年12月26日5:30～7:00



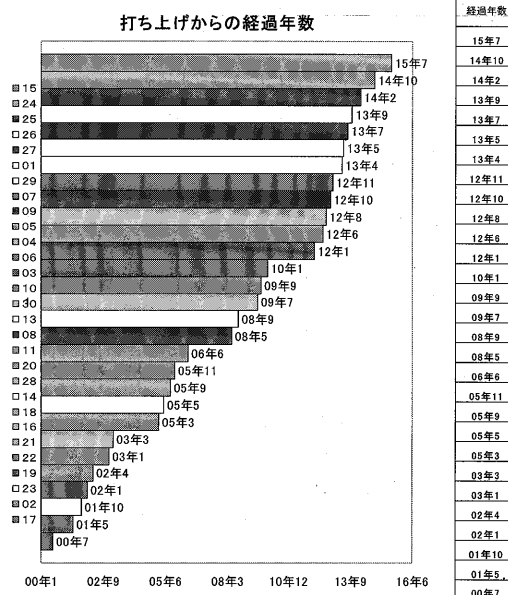
慶佐 16 日 5 : 30 ~ 7 : 00

6.2 GPS 衛星の配備状況

2006 年 4 月 6 日現在の GPS 衛星の配備状況は、次表のとおり。

PRN 番号	SV 番号	衛星の型式	原子時計の型式	打ち上げ年月日	運用開始年月日	軌道面記号／スロット番号
15	15	ブロック II	セシウム	1990/10/1	1990/10/15	D5
24	24	ブロック II A	セシウム	1991/7/4	1991/8/30	D6
25	25	ブロック II A	セシウム	1992/2/23	1992/3/24	D4
26	26	ブロック II A	ルビウム	1992/7/7	1992/7/23	F2
27	27	ブロック II A	セシウム	1992/9/9	1992/9/30	F1
01	32	ブロック II A	セシウム	1992/11/22	1992/12/11	F6
29	29	ブロック II A	ルビウム	1992/12/18	1993/1/5	F5
07	37	ブロック II A	セシウム	1993/5/13	1993/6/12	D5
09	39	ブロック II A	セシウム	1993/6/26	1993/7/20	F4
05	35	ブロック II A	ルビウム	1993/8/30	1993/9/28	B4
04	34	ブロック II A	ルビウム	1993/10/26	1993/11/22	D4
06	36	ブロック II A	ルビウム	1994/3/10	1994/3/28	D3
03	33	ブロック II A	セシウム	1996/3/28	1996/4/9	D2
10	40	ブロック II A	ルビウム	1996/7/16	1996/8/15	E3
30	30	ブロック II A	ルビウム	1996/9/12	1996/10/1	D2
13	43	ブロック II R	ルビウム	1997/7/23	1998/1/31	F3
08	38	ブロック II A	ルビウム	1997/11/6	1997/12/19	D2
11	46	ブロック II R	ルビウム	1999/10/7	2000/1/4	D2
20	51	ブロック II R	ルビウム	2000/5/11	2000/6/2	E1
28	44	ブロック II R	ルビウム	2000/7/16	2000/8/17	E3
14	41	ブロック II R	ルビウム	2000/11/11	2000/12/11	F1
18	54	ブロック II R	ルビウム	2001/1/30	2001/2/16	E4
16	56	ブロック II R	ルビウム	2003/1/29	2003/1/29	B1
21	45	ブロック II R	ルビウム	2003/3/31	2003/4/12	D3
22	47	ブロック II R	ルビウム	2003/12/21	2004/1/13	E2
19	59	ブロック II R	ルビウム	2004/3/20	2004/4/6	E3
23	60	ブロック II R	ルビウム	2004/6/23	2004/7/10	F4
02	61	ブロック II R	ルビウム	2004/11/6	2004/11/23	D1
17	53	ブロック II R-M	ルビウム	2005/9/26	2005/12/17	D4

GPS 衛星の配備状況 (2006 年 4 月 6 日現在)

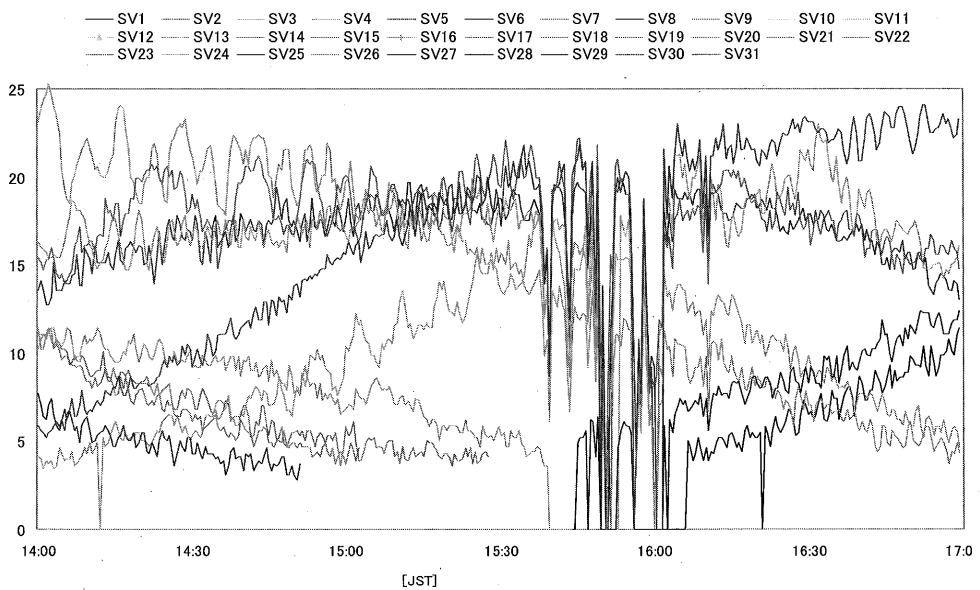
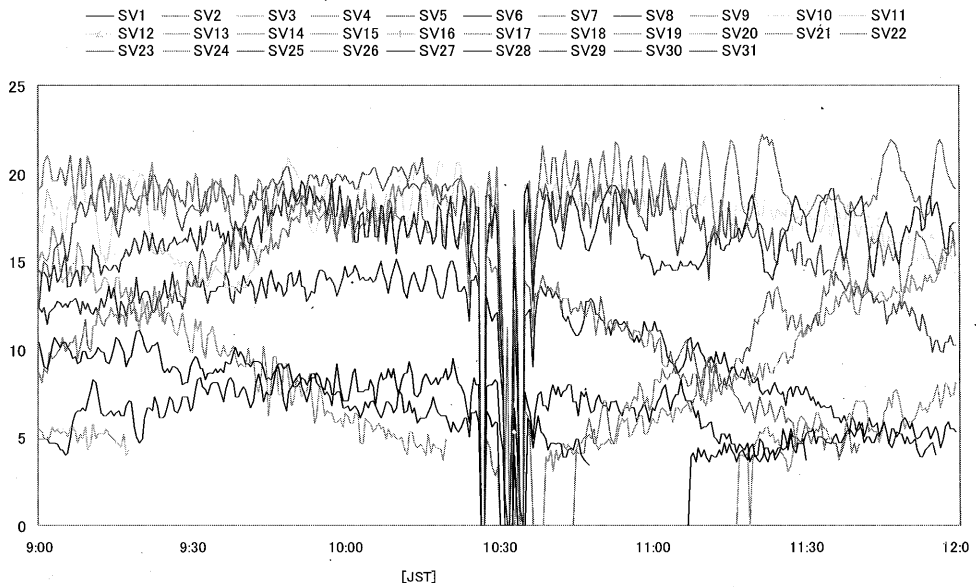


6.3 妨害波による受信障害の発生 (GPS の脆弱性)

過去に、妨害波によるものと推定される受信障害が発生している。

① 大王崎局で発生した事例

- 発生日時 2004.7.20 10 : 26 ~ 10 : 28 (2m)、10 : 33 ~ 10 : 35 (2m)、15 : 47 ~ 16 : 02 (14m) JST
- 自然復旧 (原因不明)

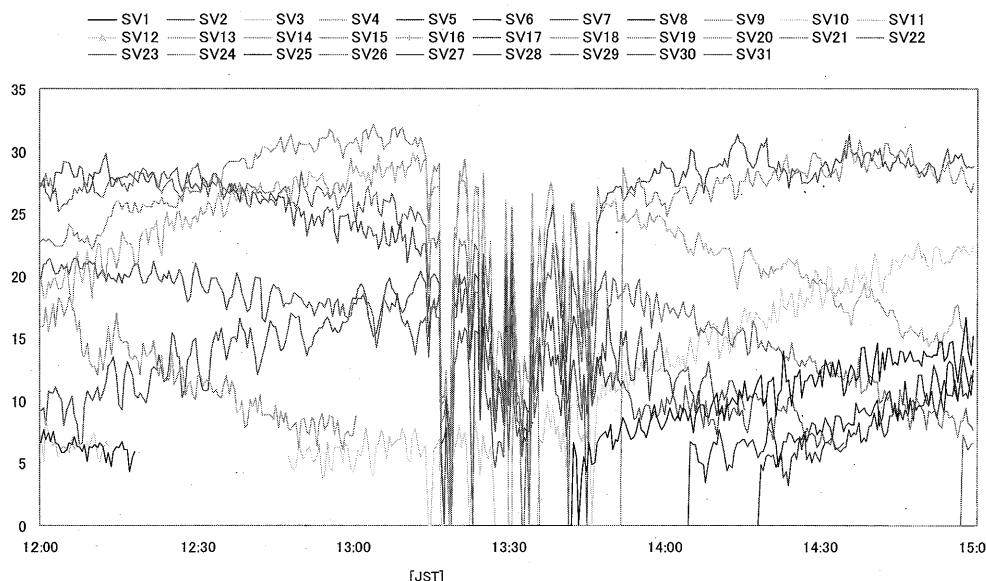


大王崎局 衛星受信 SNR 値グラフ

た事例

② 犬吠埼、浦安、釧埼、八丈島各局（関東～伊豆諸島近海のみで発生）で発生し

● 発生日時 2006.3.20 13:14～13:49 (35m) JST



犬吠埼局 衛星受信 SNR 値グラフ

- 自然復旧 (原因不明)

6.4 シンチレーション現象の発生

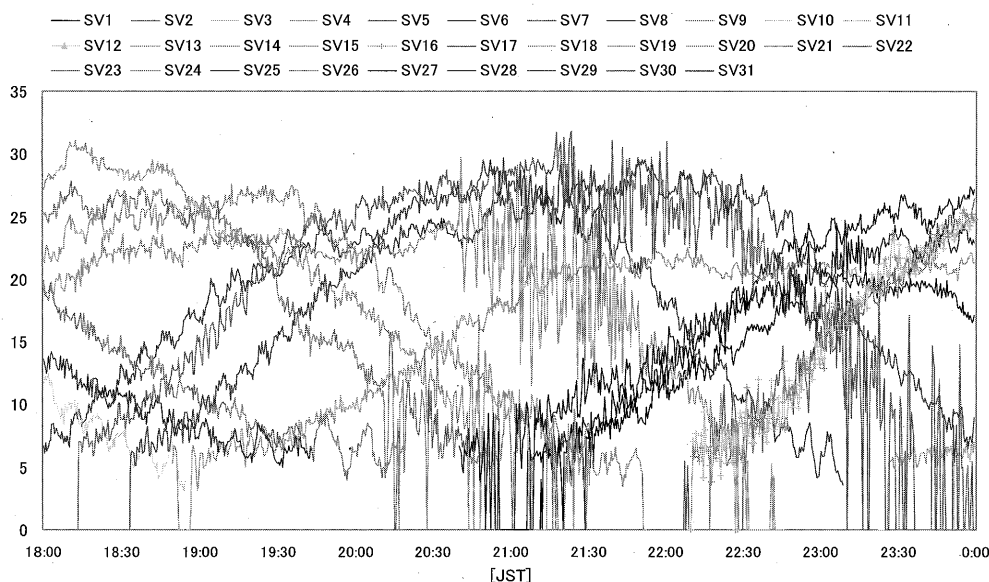
シンチレーション現象とは、赤道域で発生するプラズマバブルによる電離層擾乱で、電離層の電子密度の急激な変動による GPS 信号の喪失や精度劣化を発生させるもので、日本では沖縄方面での影響が顕著である。

- 春と秋にしか発生しない

- 時間帯は、夕方 18 時頃～ 24 時頃まで断続的に発生する

本年 4 月 5 日にシンチレーション現象が発生 (弱い磁気嵐も発生) し、20 時過ぎから翌日 (4/6) 2 時過ぎまで影響あり。

GPS 受信機の赤道方向 (南側) の衛星受信 SNR 値が大きく変動し、低仰角の衛星受信が不安定となったが、DGPS システムへの影響はほとんど無かった。

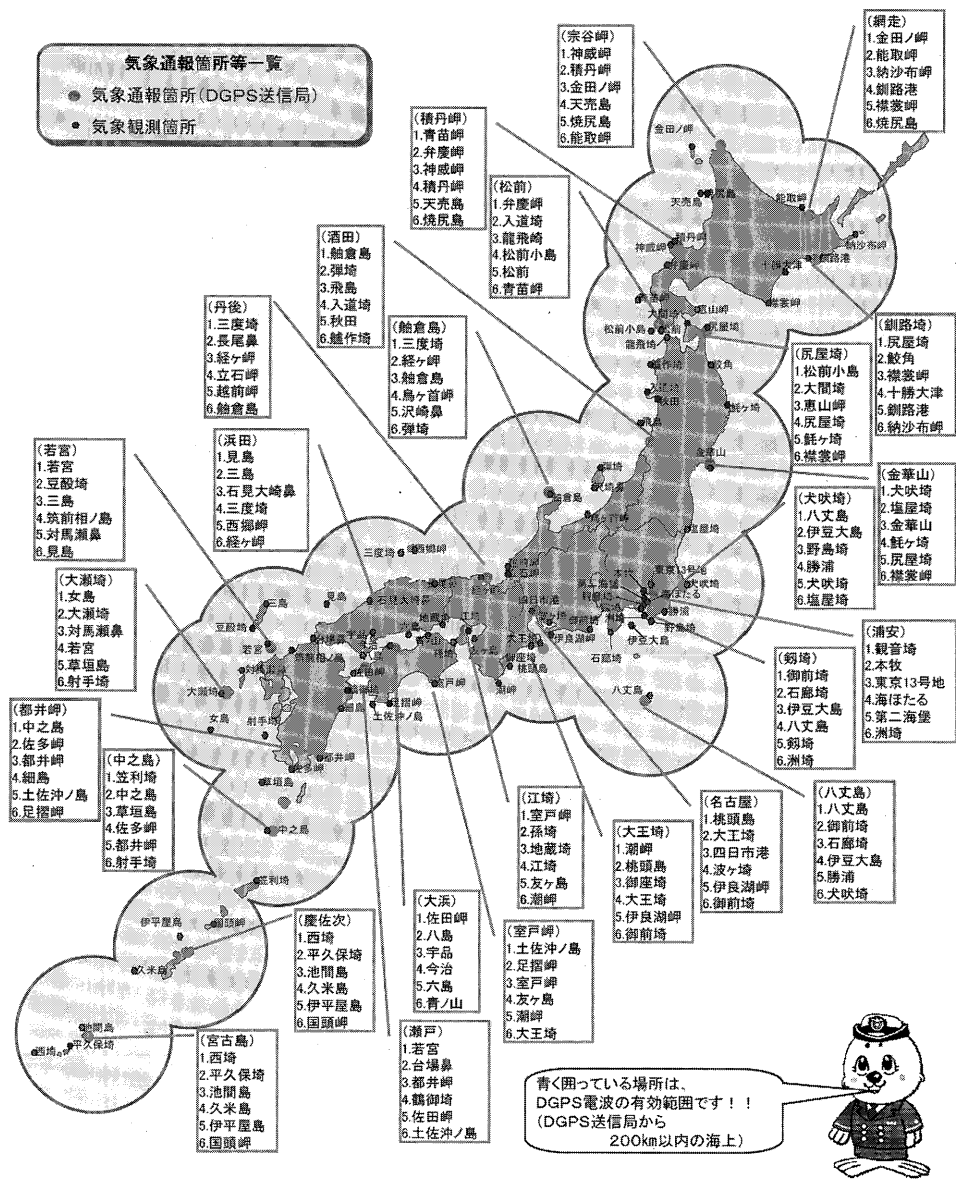


慶佐次 RS (A) 衛星状態 SNR の変化 (2006 年 4 月 5 日)

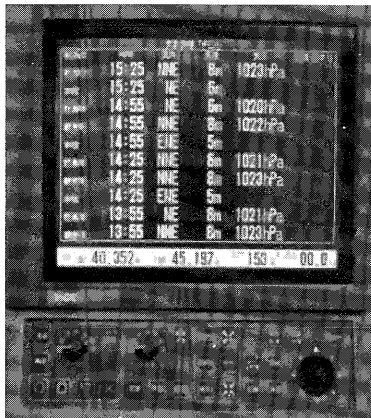
6.5 メッセージタイプ16による気象情報の提供

DGPSセンターでは、全国の27DGPS局で平成16年11月1日からDGPS補正情報と一緒にメッセージタイプ16による気象情報の提供を行っている。

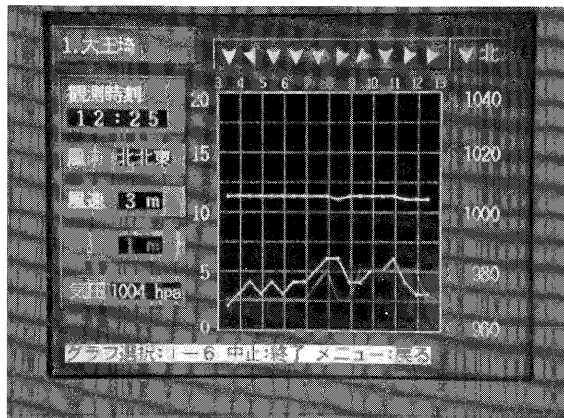
観測箇所の拡充を行い、平成18年4月1日現在では、観測箇所94箇所(6箇所分/DGPS送信局)、毎5分毎に気象情報を放送(観測時刻、観測箇所名、風向、風速、気圧、波高を30分毎データを繰り返し更新)している。



DGPS局による気象情報サービス(平成18年3月末現在)



リスト表示／(株)光電製作所製



時系列表示／(株)不二ロイヤル製

6.6 DGPS センターからの情報の提供 (ホームページ)

DGPS センターでは、次の URL で「全国のディファレンシャル GPS 局運用情報」や「GPS 衛星の情報」、「GPS 衛星の配備状況」について、リアルタイムで情報公開を行っている。

- <http://www.kaiho.milt.go.jp/syoukai/>

[soshiki/toudai/dgps/nyouyou.htm](http://www.kaiho.milt.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/dgps/nyouyou.htm)

- <http://www.kaiho.milt.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/dgps/eisei.htm>
- <http://www.kaiho.milt.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/dgps/haibi.htm>

(参考) E-mail: dgps@kaiho.milt.go.jp

最新 HP の情報内容は、次のとおり。

(2006.4.7 現在)

更新日時:2006/4/7 10:55

最新情報につきましては、DGPSセンターにお問い合わせ下さい。

局 名	周波数	補正情報	気象情報	備 考
釧路局	288.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(尻屋崎、鮫角、襟裳岬、十勝大津、釧路港、納沙布岬)放送中
網 走 局	309.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(金田ノ岬、能取岬、納沙布岬、釧路港、襟裳岬、焼尻島)放送中
宗谷岬局	295.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(神威岬、積丹岬、金田ノ岬、天売島、焼尻島、能取岬)放送中
積丹岬局	316.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(青苗岬、弁慶岬、神威岬、積丹岬、天売島、焼尻島)放送中
松 前 局	309.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(弁慶岬、入道崎、龍飛崎、松前小島、松前、青苗岬)放送中
浜 田 局	305.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(見島、三島、石見大崎鼻、三度崎、西郷岬、経ヶ岬)放送中
丹 後 局	316.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(三度崎、長尾鼻、立石岬、経ヶ岬、越前岬、船倉島)放送中
船倉島局	295.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(三度崎、経ヶ岬、船倉島、鳥ヶ首岬、沢崎鼻、弾崎)放送中
酒 田 局	288.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(船倉島、弾崎、飛島、入道崎、秋田港、鰺作崎)放送中
尻屋崎局	302.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(松前小島、大間崎、恵山岬、尻屋崎、トドヶ崎、襟裳岬)放送中
金華山局	316.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(大吠崎、塩屋崎、金華山、トドヶ崎、尻屋崎、襟裳岬)放送中
大吠崎局	295.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(八丈島、伊豆大島、野島崎、勝浦、大吠崎、塩屋崎)放送中
浦 安 局	321.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(観音崎、本牧、東京13号地、海ほたる、第二海堡、洲崎)放送中
鰺 崎 局	309.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(御前崎、石廊崎、伊豆大島、八丈島、鰺崎、洲崎)放送中
八丈島局	302.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(八丈島、御前崎、石廊崎、伊豆大島、勝浦、大吠崎)放送中
名古屋局	320.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(桃頭島、大王崎、四日市港、波ヶ崎、伊良湖岬、御前崎)放送中
大王崎局	288.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(潮岬、桃頭島、御座崎、大王崎、伊良湖岬、御前崎)放送中
室戸岬局	295.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(土佐沖ノ島、足摺岬、室戸岬、友ヶ島、潮岬、大王崎)放送中
江 崎 局	320.5kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(室戸岬、孫崎、地蔵崎、江崎、友ヶ島、潮岬)放送中
大 浜 局	321.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(佐田岬、八島、宇品、今治、六島、青ノ山)放送中
瀬 戸 局	320.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(若宮、台場鼻、都井岬、鶴御崎、佐田岬、土佐沖ノ島)放送中
若 宮 局	295.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(若宮、豆酸崎、三島、筑前相ノ島、対馬瀬鼻、見島)放送中
大瀬崎局	302.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(女島、大瀬崎、対馬瀬鼻、若宮、草垣島、射手崎)放送中
都井岬局	309.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(中之島、佐多岬、都井岬、細島、土佐沖ノ島、足摺岬)放送中
トカラ中之島局	320.5kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(笠利崎、中之島、草垣島、佐多岬、都井岬、射手崎)放送中
慶佐次局	288.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(西崎、平久保崎、池間島、久米島、伊平屋島、国頭岬)放送中
宮古島局	316.0kHz	正常運用中	正常運用中	TYPE16による気象情報(西崎、平久保崎、池間島、久米島、伊平屋島、国頭岬)放送中
補正情報				
・業務休止		:大瀬崎局(気象情報含む。)		3月23日09:00~12:55
・補正情報未放送		:大吠崎、浦安、鰺崎、八丈島局		3月20日13:14~13:49(GPS衛星受信不安定の為、断続的に発生)
気象情報				
・業務休止		:トカラ中之島局(笠利崎、中之島、草垣島、佐多岬) 3月22日、23日 1300~1700		
		:都井岬局(中之島、佐多岬) 3月22日、23日 1300~1700		
		:慶佐次局、宮古島局(国頭岬) 3月22日、23日 1300~1700		
		:慶佐次局(全観測所) 3月23日13:00~15:15		
		:トカラ中之島局、大瀬崎局(射手崎) 3月28日09:00~13:00		

更新日時:2006/4/7 10:54

最新情報につきましては、DGPSセンターにお問い合わせ下さい。

衛星の運用状況	G P S 衛星は現在、29個で運用されています。
衛星の利用不能予告	PRN # 07 4/ 7 18:30 ~ 4/ 9 18:30 軌道修正 PRN # 06 4/11 22:45 ~ 4/12 10:45 軌道修正
衛星の利用不能状況	PRN # 30 3/11 11:00 ~ 3/28 06:29 利用不能 PRN # 25 3/22 10:49 ~ 3/28 10:44 利用不能 PRN # 10 4/ 6 23:16 ~ 4/ 7 00:14 機器保守
衛星の利用不能予告解除	な し
その他の情報	3/20 13:14~13:49 関東～伊豆諸島近海でG P S 衛星が断続的に受信できない事例あり（原因不明、調査中：DGPSセンターの情報）

※情報の入手元：米国沿岸警備隊

- (1) 衛星の利用不能予告とは、米国によるG P S 衛星の計画的な軌道修正・機器保守等により当該G P S 衛星を利用出来なくなる予告期間を示します。
- (2) 衛星の利用不能状況とは、衛星の利用不能予告に対する結果を示します。

更新日時:2006/4/7 10:56

最新情報につきましては、DGPSセンターにお問い合わせ下さい。

PRN 番号	SV 番号	衛星の型式	原子時計の 型式	打ち上げ 年月日	運用開始 年月日	軌道面記号 / スロット番号
01	32	ブロックⅡA	セシウム	1992/11/22	1992/12/11	F6
02	61	ブロックⅡR	ルビジウム	2004/11/6	2004/11/23	D1
03	33	ブロックⅡA	セシウム	1996/3/28	1996/4/9	C2
04	34	ブロックⅡA	ルビジウム	1993/10/26	1993/11/22	D4
05	35	ブロックⅡA	ルビジウム	1993/8/30	1993/9/28	B4
06	36	ブロックⅡA	ルビジウム	1994/3/10	1994/3/28	C1
07	37	ブロックⅡA	ルビジウム	1993/5/13	1993/6/12	C5
08	38	ブロックⅡA	セシウム	1997/11/6	1997/12/19	A3
09	39	ブロックⅡA	ルビジウム	1993/6/26	1993/7/20	A1
10	40	ブロックⅡA	セシウム	1996/7/16	1996/8/15	E3
11	46	ブロックⅡR	ルビジウム	1999/10/7	2000/1/4	D2
13	43	ブロックⅡR	ルビジウム	1997/7/23	1998/1/31	F3
14	41	ブロックⅡR	ルビジウム	2000/11/11	2000/12/11	F1
15	15	ブロックⅡ	セシウム	1990/10/1	1990/10/15	D5
16	56	ブロックⅡR	ルビジウム	2003/1/29	2003/2/19	B1
17	53	ブロックⅡR-M	ルビジウム	2005/9/26	2005/12/17	C4
18	54	ブロックⅡR	ルビジウム	2001/1/30	2001/2/16	E4
19	59	ブロックⅡR	ルビジウム	2004/3/20	2004/4/6	C3
20	51	ブロックⅡR	ルビジウム	2000/5/11	2000/6/2	E1
21	45	ブロックⅡR	ルビジウム	2003/3/31	2003/4/12	D3
22	47	ブロックⅡR	ルビジウム	2003/12/21	2004/1/13	E2
23	60	ブロックⅡR	ルビジウム	2004/6/23	2004/7/10	F4
24	24	ブロックⅡA	セシウム	1991/7/4	1991/8/30	D6
25	25	ブロックⅡA	ルビジウム	1992/2/23	1992/3/24	A2
26	26	ブロックⅡA	ルビジウム	1992/7/7	1992/7/23	F2
27	27	ブロックⅡA	セシウム	1992/9/9	1992/9/30	A4
28	44	ブロックⅡR	ルビジウム	2000/7/16	2000/8/17	B3
29	29	ブロックⅡA	ルビジウム	1992/12/18	1993/1/5	F5
30	30	ブロックⅡA	ルビジウム	1996/9/12	1996/10/1	B2

※情報の入手元: 米国沿岸警備隊

7 おわりに

海上保安庁が運用する DGPS システムは試験運用開始後、10 年が経過し、機器が老朽化し始めている状況から、国際機関である IALA における海上分野における DGNSS の将来に関する勧告案を踏まえ、

IALA 方式次世代型 DGNSS システムへの移行について、検討している状況です。

海上保安庁では、今後も中波による DGPS システムを安定的に運用して、ユーザーに対する信頼を維持していきたいと考えております。

海洋ブロードバンドを用いた船舶の運航管理

東京海洋大学 庄司 るり

1. はじめに

近年、陸上の通信はますます高速・大容量化（ブロードバンド通信）を実現している。それに引き替え海上の通信はいまだ INMARSAT を中心とした 64Kbps の世界である。先進海運国における海運は、外航海運・内航海運ともに運航形態に問題を抱えており、これらの問題の解決にあたって、いずれの場合にもそのボトルネックのひとつは船陸間通信である。この格差を是正し、有効なインフラとして船陸間通信を活用するため、「海洋ブロードバンドネットワークプロジェクト」と呼ぶ衛星を利用した高速大容量衛星通信ネットワークを構築し、このネットワークを利用した新たな船舶の運航形態の検討を行ってきた。ここでは、このプロジェクトの基本的な設計概念を示し、この設計概念に基づいて構築したネットワークシステムの運航管理への応用の可能性を示す。

2. 船陸間の無線通信システムの変遷

1990 年台の携帯電話と無線 LAN の発達により、陸上での無線通信システムにおける通信環境は飛躍的に発展し、高速・大容量通信が可能となった。第 3 世代の携帯電話で、下り最大 2.4Mbps、上り最大 144kbps（ベストエフォート型）が実現、無線 LAN においては、2006 年中に 100Mbps の通信が可能な高速無線 PAN（Personal Area Network）が計画されている。

海上における無線通信は、マルコーニの無線電信通信の成功以来、船舶と陸上間および船舶間の通信手段として発達してきた。現在では、超短波、短波、中短波通信の他に、インマルサット（INMARSAT：1982 年から運用開始）や N-STAR（1996 年から運用開始）等の衛星移動通信システムが使用可能となっている。携帯電話は通信エリアが限られているが、沿岸・港湾での使用には活用可能である。

海上通信の宿命として、構築されたネットワークがカバーしなければならないサービスエリアは非常に広く、ユーザが分散しており、ユーザの種類も陸上より少なく陸上のように一般用ではなく専ら業務用であること等が挙げられる。これらのことから通信料金は極めて割高となる。INMARSAT の通信速度は 64Kbps で、本年 6 月には 128Kbps のサービスが開始される予定である。2005 年 12 月に開始された BGAN サービスの通信速度は 492Kbps だが、陸上と比較すると満足できる通信速度は得られていない。Fig.1 は、無線通信システムの発達の流れを示す総務省の資料であるが、海上と陸上における通信環境の格差の広がりが見えられており、陸上の無線通信環境との格差は約 100,000 倍にもなっている。

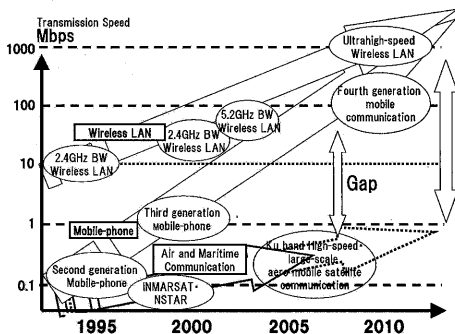


Fig.1 Progress of radio communication system (総務省資料)

3. 海運と通信

我が国の外航海運においては、最近の海運市況の好転の波に乗って、今後5年間で900隻以上の日本の海運会社支配の船舶が建造されると予想されている。しかしそれは日本人船員の増加や日本籍船の増加を伴っておらず、船舶の便宜置籍船化、船員の混乗化によってこの状況を切り抜けようとしている。また運航管理を行う会社を海運会社本体から切り離して別会社とするとともに、シンガポール、インドネシア、インドなどに運航管理会社を移す傾向もあり、まさに海運の空洞化が進みつつある。このような状況下にあって増え続ける船舶のフリート管理等の円滑化、効率化のために、船と本国を結ぶ情報通信手段は不可欠なものになりつつある。現在、通信の多くはドキュメント管理、表、図、写真の送受およびインターネットからの天気図などの情報収集等である。使用する通信インフラとしてはインマルサットB (9600bps)、インマルサットF (64Kbps) である。

また最近の特に若者の世界的傾向としてはインターネットの無い職場はもはや時代遅れとなり、TV受信など娯楽面を含めた

福利・厚生面や陸上からの情報提供による船内生活の充実を望む声は高い。

内航海運においては、船員不足と船員の高齢化に伴う海技伝承の困難性から、外航海運より遙かに深刻な状況である。内航船の場合、まだ余裕のある外航船と異なり、陸上支援の必要な領域は外航船よりも広く、支援要求の緊急性も高い。その理由は、出入港作業が多いこと、沿岸航海であるため見張り業務、避航、変針作業など航海業務の負担が大きいこと、運航要員が平均5人と極めて少ないこと等である。また内航船の積荷の種類は多岐にわたり、乗船した船舶の積荷毎に必要な作業は変わってくる。また運航サイクルも一様ではなく船員生活への影響が大きいこと、船体構造の違いから操船技術習得に時間がかかること等も問題である。このような内航船の特徴から、画一的なマニュアルによる標準化では対応しきれないことも、海技技術の向上の妨げとなっている。しかし船陸間通信が発達し、様々な船舶間で情報交換が可能となり、乗船中でも広い知識を得られるようになれば、高い技術や知識を持った有能な人材育成にも繋がるかと期待できる。

4. 運航形態の変遷と運航支援の必要性

船舶の運航形態の変化は、ある意味では船陸間通信の発展により変化してきたと言える。Table.1 はその様子を示している(1)。すなわち船が海上の輸送手段として登場して以来長く続いた第1世代では、船舶の運航は陸上からの支援がなく自律的に成り立っていた。第2世代に至り、運航の形態の一部が陸上に委ねられるようになった。この状態はようやく19世紀の終わりから

20 世紀に至る時代に始まり、現在は次に述べる第 3 世代への過渡期であると考えてよい。第 3 世代は、船舶と陸上にある支援システムが一体となった協調運航 (Shore to Ship Cooperation) が実現する時代である。この時代の到来に際し不可欠なインフラが、船と陸を結ぶ通信インフラである。

Table.1 Changes in ship management form

世代	船舶から見た運航の主体性	運航の独立性	よく見られる時期
第 1 世代	自律的	自立的	過去
第 2 世代	自律 他律的	自律 依存的	近過去 現在 近未来
第 3 世代	他律的	依存的	将来

5. 海洋ブロードバンドネットワーク

5.1 海洋ブロードバンドネットワークの概要

海洋ブロードバンドネットワークは、衛星追尾アンテナを搭載した船舶局、通信衛星、地上管制局および陸上拠点から構成されている。通信衛星としては、JSAT (株) の東経 150 度の赤道、36,000 km 上空の静止軌道に配置されている JCSAT-1B を使用している。通信周波数は、雨などによる減衰の比較的小さい Ku バンド帯 (無線周波数 10.6 - 15.7GHz 帯) である。JCSAT-1B の通信サービス提供エリアを Fig.2 に示す(2)。

Fig.3 は、海洋ブロードバンドネットワーク全体構成図である。船舶局としては、東京海洋大学練習船「汐路丸」、独立行政法人航海訓練所練習船「銀河丸」および宇部興産海運株式会社所有セメント運搬船「新栄丸」の 3 隻を実験船として使用している。

地上管制局は、JSAT (株) の横浜衛星管制センター (YSCC: Yokohama Satellite Control Center) にあり、専用アンテナを使用して通信衛星の管制業務を担当している。

陸上拠点とは、各船舶を所有する東京海洋大学、独立行政法人航海訓練所および宇部興産海運株式会社のことで、これらは光ケーブル回線を用いて、IP ネットワークに接続している。各船舶、通信衛星、地上管制局および陸上拠点間では、仮想プライベートネットワーク (VPN: Virtual Private Network) を構築し、高いセキュリティを保証するネットワークとなっている。

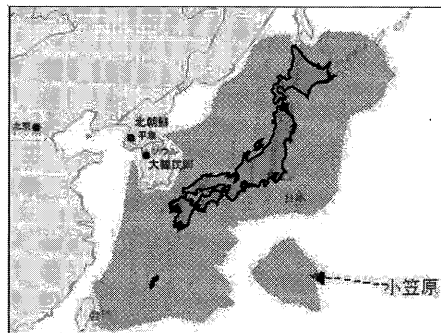


Fig.2 Service area of JCSAT-1B

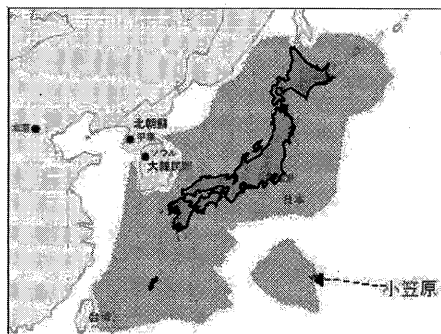


Fig.3 System Configuration of Maritime Broadband Network

5.2 海洋ブロードバンドネットワークに関する評価実験

海洋ブロードバンドネットワークシステム構築当初の2003年11月から2004年8月の期間に、航行中の船上におけるアンテナの性能と通信状態の確認を目的とし、汐路丸を用いて様々な実験を行った。

汐路丸に搭載されたアンテナシステムにおける衛星の捕捉・追尾は、アンテナシステム自身のGPS (Global Positioning System) 受信機と本船のジャイロ信号を基準として、自動的に行われている。しかし操船や外乱により引き起こされる船体運動が大きくなると、衛星の捕捉・追尾において十分な精度が得られなくなり、ビーム受信レベルが低下することが確認された。このようなビーム受信レベルの低下は、船舶からの送信時衛星に対して送信ビームが偏れ、場合によっては他の衛星に電波を当てる結果となる。実船実験結果から、アンテナ制御システム内に、電波の受信電力が電圧レベルで0.7V以上の低下があった場合には、送信キャリアを停波するインターロック機能を実装するインヒビット・ボックス (Inhibit Box) の追加を行った。

また汐路丸における航行試験において、航行時の船体運動による影響を確認した結果、ヨーレートが大きくなるほど、つまり旋回角速度が増すにつれ、アンテナの衛星追尾性能が低下し、インターロック機能が作動することが分かった。これらの結果から汐路丸の場合、目安として旋回角速度が $2^{\circ}/\text{sec}$ 以上では、アンテナが衛星を追尾出来なくなることが分かった。

衛星は船舶から見て常に一定の方位にあるため、船体構造物の遮蔽によって衛星を

見透かすことができずに電波を遮る場合がある。船体構造物が電波の送受信に影響を与える範囲をブロックageゾーン (Blockage Zone) として、送信電波を停波することとした。

このネットワークはこれまでのところ船から陸および陸から船への通信速度は1.0Mbpsを実現しているが、船から陸へは2.0Mbps、陸から船へは4.0Mbpsを実現できる免許を取得している。地上回線の光回線はブロードバンド (B フレッツ：NTT 地域会社のデータ通信サービス) であり、そのラインでの遅延は、現在の実験中に特に問題はなかった。

6. 海洋ブロードバンドネットワークを用いた運航支援

Table.2 は、高速大容量通信の船舶への応用に関して現在考えられる応用分野について示している。

Table. 2 の中でも最も早く実現される応用は、ブロードバンド通信の運航管理や誘導制御への応用であると考えられる。後者の海洋ブロードバンドを用いた誘導制御、特に船員不足に悩む内航船の沿岸航海における航路誘導などの分野への活用は進んでいる。ただし、高度な運航を行う場合には、法整備も必要である。

6.1 福利・厚生

鮮明な画像を利用した遠隔治療や衛星放送の安定的な受信のように、海上で生活する人々も陸上と同じ環境で過ごせることや、家族との連絡はもとより世界中の情報を得ることができるようになること等の生活環境の高度化が、船員不足解消に役立つ

Table.2 Contents of Management Service using Maritime Broadband

分野	項目	主な情報形態	内容
福利・厚生	船員福利	画像・データ	TV電話、メールなど
	遠隔医療	画像・データ	船内患者の治療指導
	娯楽・インターネット	画像・データ	衛星TV、スカパーなど
安全運航	船外監視	画像	カメラの遠隔操作による船外監視、見張り
	船内監視	画像	カメラの遠隔監視による船内状況の把握
運航管理	船体モニタリング	データ	船体応力、姿勢などのリアルタイム監視、記録、解析
	機関モニタリング	データ	主機関状態のリアルタイム監視、記録、解析
	貨物モニタリング	データ	貨物の状態監視
航行支援	気象・海象	データ	ひまわり等の海、気象情報入手(波浪、気象情報)
	ウェザールーティング	データ	推薦航路などの提供
	航路情報	データ	海上交通レーダ情報、港内状況情報
航路誘導	指定航路追従	画像・データ	見張りと情報と組み合わせた針路、速力制御、衝突回避
	港内操船(離着岸など)	画像・データ	針路、速力のリアルタイム情報による制御による
船舶管理	故障管理	データ	全フリートの故障データ管理、解析
	故障診断	画像	故障対策
	パフォーマンス管理	データ	船舶性能、管理
危機管理	海難通報	画像・データ・音声	海難発生時の状況監視
	損傷制御・監視	画像・音声	損傷箇所の状況監視と対策
情報提供	海洋汚染情報	画像	周辺海域の汚染状況
	海洋気象情報	データ通信	気象、海象、潮流通報による地球環境予測への貢献

ことが大いに期待できる。

また配乗が変わる際、配乗先の船舶や積み荷の情報を予習することや現在の乗組員からの情報を得ることで、船員の技術や知識の向上が期待できる。船員の生活レベルや技術の向上は、船員の質(ステータス)を上げることに繋がり、海運界そのものの底上げを行っていくことになる。陸上でもデジタルデバイドによる情報格差が収入格差に繋がることが懸念される現在、海上にいる船員もその例外ではないと考える必要がある。

6.2 内航船の運航支援のあり方

本研究では、船舶の運航形態が陸上との協調型になりつつある中で、ブロードバンド通信で収集した大量のリアルタイムのデータをダイナミックに用いて、これまでの経験の積み上げによる船内における協調型の運航体制を、陸上の船舶管理を行う側にも広げて、海陸協調型の学習型、予測型の運航管理手法を構築することを目指している。我が国の船員が経験によって伝達してきた各船固有の運航性能などの情報を、ブロードバンド通信から得られる大量の情報をを用いて陸上で情報処理を行い、船舶の予測型運航に役立つシステムを開発していく。

そのため例えば運航管理手法としては統計的手法により、得られたデータから各船の現在の状態について因果関係を示す統計モデルを自動的に作成し特徴づけ、それを逐次的に時間更新しながら予測精度を高めていく必要があると考える。また海洋学、造船学、機関学、航海学において、これまで得られた決定論的な知見を基本として、

時間更新過程において、高速大容量通信を使って現場から得られる時々刻々に得られるデータをその中に埋め込みあるいは同化(Data assimilation)させ、船体の運航状態を精度良く予測する方法を検討する。

6.3 船陸間でのデータの共有

船陸間でのデータの共有については、船陸間で得られた全てのデータを送受信するのではなく、船内において算出されたデータの特徴値である基本統計量、すなわち平均値、分散、歪み度、尖り度、異常値や、データから得られるトレンドモデルや季節調整モデルなどのパラメトリックな統計モデルなどを、その統計量、統計モデルの置かれた時間履歴、環境値とともにデータベース化し、同時に陸上へ伝送することを検討している。これによって陸上に送信するデータ量の軽減がはかれる。

陸上においては蓄積されたデータの特徴値の中から、平均速力と平均燃料消費量の関係、シーマージンの算出などを自動的にに行い、船舶の運航管理の基本的資料にすると共に、時間が経過した後には適当な間隔で

自動的にあるいは陸上の運航管理者によって解析を行う。

7. 船舶運航情報の監視例

適切な運航支援を行うためには、航行中の船舶の情報を船陸間で共有し、陸上で利用出来る必要がある。ここでは、陸上での船舶運航情報監視の例を示す。

7.1 汐路丸の運航管理について

汐路丸を使用した実船実験は、2003年7月から開始され、前述したネットワークの性能に関する実験の他に、多くのアプリケーションを使用した実験を行った(3)。本船には船内LANが整備されており、サーバと接続することにより、実時間の航海情報、機関情報を陸上に伝送することができ、Fig. 5は汐路丸から陸上に送られた1秒毎の航海情報(左側)と機関情報(右側)を陸上側で表示した画面である。本システムでの伝送遅れは300msec以下で、監視(モニタリング)はもちろん遠隔制御実験に置いても問題はなかった。

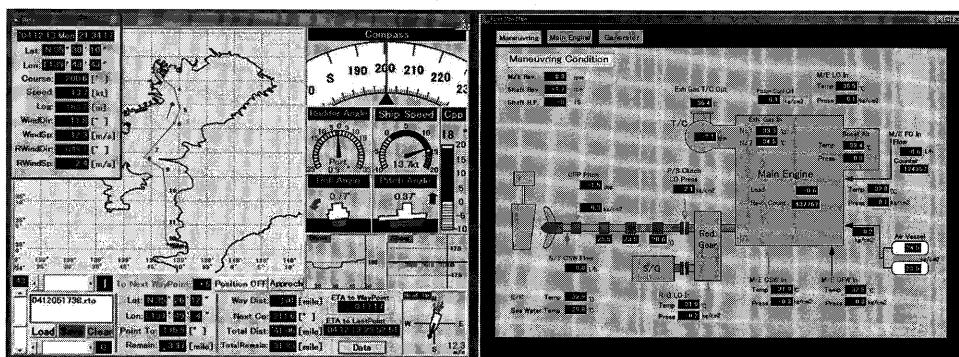


Fig.5 Navigation and Engine Monitor of Shioji Maru

7.2 銀河丸の運航管理について

銀河丸は、船内 LAN 環境が充実しており、航海系および機関系の多くの情報を収集することが可能である。また銀河丸では、収集された情報、レーダ ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) および船内外に設置されたカメラの映像を、CATV (Cable Television) 連携により船内 TV で表示する

ことが出来る。この船内 TV で表示される映像を海洋ブロードバンド経由で陸上側に送信することで、各種情報を映像情報として入手できるようになっている。Fig. 6 は、2005 年 7 月に瀬戸内海航行中の銀河丸から伝送された動画の映像で、左側は船外カメラの映像、右側は銀河丸船橋に設置されたレーダ ARPA の映像である。

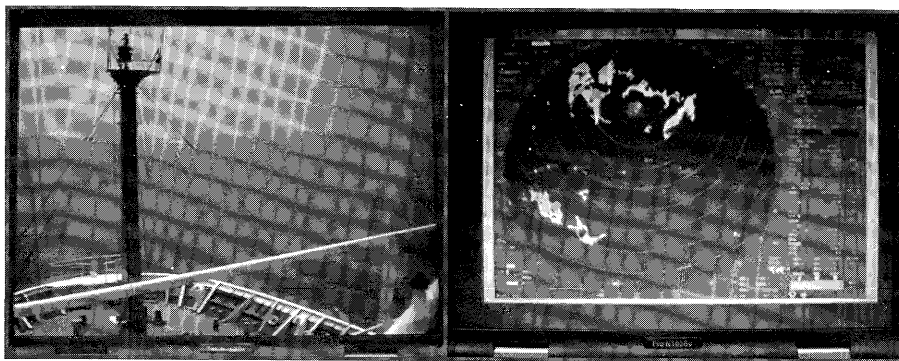


Fig.6 Outside image and radar image of Ginga Maru

7.3 新栄丸の運航管理について

本研究では、宇部興産海運株式会社 (以下、本社と記す) が所有するセメント運搬船「新栄丸」を用いて、海洋ブロードバンドネットワークシステムの運用実験を行った。新栄丸では各種船舶情報を収集し、航海中は 1 秒毎に東京海洋大学と本社のデータサーバにリアルタイムに伝送される。また航海中は、毎正時を挟んだ ± 300 秒 (± 5 分間) のデータを保存しておき、通信可能な場合は 1 時間毎に、夜間の分は通信可能となったときにまとめて、データサーバに伝送される仕組みとしている。

新栄丸で収集された情報を海洋ブロードバンドネットワークに参加している各所から閲覧できるように、Web ブラウザによる閲覧システムを作成した(7)。そのトップ

ページには、1 秒毎に伝送されてくるリアルタイムデータを 5 秒毎に更新し、表示するようにになっている。

本船のコンパスデッキ右舷側には、ネットワークカメラを設置してある。Fig. 7 はこのカメラからの映像で、画面左側のメニューからパン・チルト・ズーム等の遠隔操作も可能である。Fig. 7 の右下の船舶の映像は、左の映像の拡大映像で、船首左舷側の自動車専用船を鮮明に見ることが出来る。Fig. 7 の右上の画像は、コンパスデッキに設置したカメラの 10 分毎の記録映像の検索画面である。

新栄丸の機関室には 2 台のカメラが設置されており、1 台は音声の送受信ができる。陸上側では、カメラを遠隔操作しながら、機関室内の音や声をモニターすることがで

きる。Fig. 8は、エンジンルームIPカメラ2の映像で、機関室内での作業の様子を撮影したものである。陸上にいる熟練者や専門家がこのような映像を利用することで、よりの確な助言を与えることが可能となる。

Fig. 9は、新栄丸から伝送されてきた各種船舶情報の時系列表示例である。

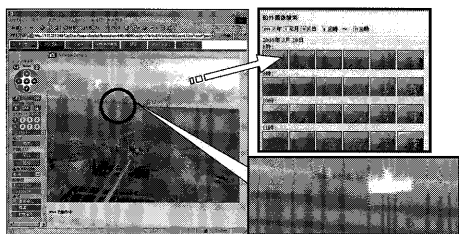


Fig.7 Image of network camera at Compass deck

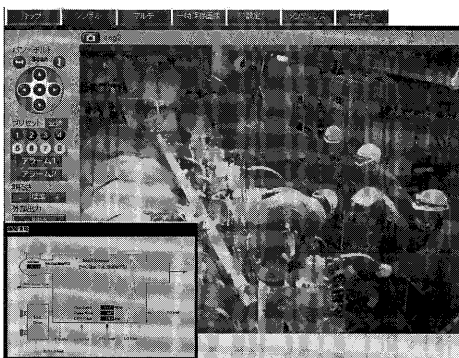


Fig.8 Image of Network camera at engine room

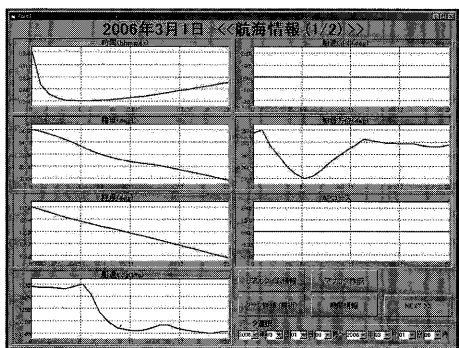


Fig.9 Time series of navigational data

8. まとめ

本論は、高速大容量通信を用いた船舶の運航管理に関して、海洋ブロードバンドネットワークシステムの基本的な設計概念とその必要性およびこのような通信環境で実現される運航支援の有効性を検証した。

現在の運航形態は、第2世代と第3世代の間、すなわち自律的な形態から陸上支援を受け他律的な形態への移行期にあると言われている。しかしこれまでの研究から、第3世代へのボトルネックは船陸間通信の陸上通信との格差にあることが分かっていた。著者らは、そのボトルネックを取り払い、新たな先進国型運航形態に移行する有効なインフラとして船陸間通信を活用するために、海洋ブロードバンドネットワークを構築してきた。そしてこのネットワークを利用した新たな船舶の運航形態の構築の試みを行い、実証実験によりその有効性を検証した。またアンケート、種々のヒアリング、シンポジウム等を通じて、内航海運においては、深刻な船員不足と高齢化のために、外航海運よりも切実に陸上からの運航支援や船内生活の高度化を推進する必要があることが分かった。

今後は、これまでの経験の積み上げによる船内における協調型の運航体制を、陸上の船舶管理を行う側にも広げて、海陸協調型の学習型、予測型の運航管理手法の構築を目指していく予定である。

謝辞

実船実験に関しまして多大なるご協力を頂きました、宇部興産海運株式会社、新栄丸、独立行政法人航海訓練所銀河丸および東京海洋大学海洋工学部汐路丸の乗組員の

方々およびNTTラーニングシステムズ(株) 渡辺伸氏に深く感謝致します。また海洋ブロードバンド研究会(三井造船昭島研究所、NTT コミュニケーションズ、JSAT、第一電気、住友電工、三井造船、宇部興産海運)の関係者のみなさまに深甚の感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 杉崎昭生：船舶運航と時間、空間、そして課題、日本航海学会誌, NAVIGATION, 第 119 号, 1994.3
- (2) 大津皓平他：衛星を利用した海洋ブロードバンドプロジェクトについて, Navigation (日本航海学会誌), No.158: pp.24-28, 2003
- (3) Kohei Ohtsu, Ruri Shoji, others : Study on Maritime Broadband Communication System at the Tokyo University of Marine Science and Technology, Proceedings of the 7th International Symposium on Marine Engineering Tokyo, CD-R, October 24th to 28th, 2005
- (4) 大津皓平・宮崎和博：船陸間高速大容量通信を活用した新たな運航形態の展望, 第 10 回東京海洋大学産官学フォーラム, 2006

高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発

電子航法研究所 伊藤 憲

1. はじめに

現在、我が国においては全地球的測位システム (GPS) による測位技術の利用が拡大しており、カーナビゲーションを始めとした交通分野や測量、防災、国土管理など幅広い分野で利用されているが、GPS には山岳や都市部のビル等により遮られ、十分な数の衛星からの信号を受信できない地域が存在するという問題がある。

さらに、現在の GPS を単独で用いて得られる位置の精度は、列車などの高速移動体にとっては十分ではなく、さらに、位置精度の信頼性が保証されていないことから、安全性を重視する用途では何らかの手段を用いて、求められた位置の信頼性を確保する必要がある。

そのため、国土交通省では、常に天頂付近に見える準天頂衛星 (平成 21 年度打ち上げ予定) を利用することにより、測位不可能な地域を縮小し、高速移動体にも適用できる高精度測位補正技術とともに移動体への利用技術確立のための研究開発に取り組んでいる。

電子航法研究所は、国土交通省における技術開発の一環として、平成 15 年度から、高速移動体に適用可能で、かつ、信頼性を確保できる高精度測位実験システムの開発を開始した。

ここでは、電子航法研究所における研究開発の概要について報告する。

2. 準天頂衛星システム

図 1 は準天頂衛星軌道の地上軌跡の例である。この図では、離心率が約 0.1 で、軌道傾斜角が 45 度である。このような軌道の衛星は、日本付近で、約 8 時間、仰角が 70 度から 80 度と高くなり、その間はだいたい天頂方向に見えることになる。そのため、この衛星は準天頂衛星と呼ばれている。この準天頂衛星を 3 個組み合わせると、各準天頂衛星が 8 時間ずつ次々に日本上空に見えるようにすることができる。言い換えると、24 時間のうち、いつでも、いずれかの準天頂衛星が天頂方向に見えていることになる。

このような準天頂衛星は、常に、高い仰角で見えるので、都市部や山間部でも、建物や山岳により信号が遮られることが少なくなる。これが、準天頂衛星の大きな特徴

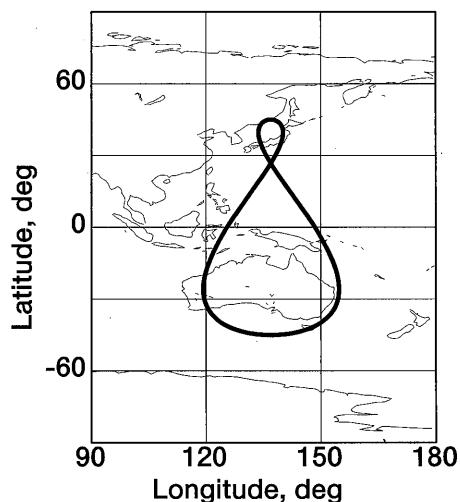


図 1 準天頂衛星軌道の地上軌跡

準天頂衛星を用いたシステムについては、民間の通信放送事業（高仰角からの移動体通信・放送サービス提供）に国の衛星測位研究開発（GPS 補完・補強）を組み合わせた形で、平成 15 年より研究が開始された。平成 18 年 3 月にこの方針が見直され、段階的にシステムを整備することになった。

- 民間は第2段階以降に事業化を行うかどうかを判断する予定である。初号機の開発・実証はJAXA（宇宙航空研究開発機構）が担当する。計画レベルでは文部科学省がとりまとめを行う。

ており、宇宙航空研究開発機構は、GPSと互換性を持った、L1C、L2、L5信号の開発を行う。電子航法研究所は、GPSより更に精度の高い広域補強信号（L1-SAIF：Submeter-class Augmentation with Integrity Function）の技術開発を担当している。測位衛星に欠かせない原子時計は、日本の時刻標準を管理している情報通信研究機構、さらに産業技術総合研究所が担当している。

電子航法研究所は国土交通省の委託を受けて、準天頂衛星を用いる高精度・高信頼性の測位補正技術を開発している。この開発の目的は、鉄道などの高速移動体の安全性向上に寄与する高精度測位システムの実現ということである。

The diagram illustrates the GPS system architecture and the flow of correction information. At the top, a GPS satellite is shown with a callout box stating: 準天頂衛星 高仰角から補正情報を伝送 (Quasi-Zenith Satellite: Transmitting correction information from a high elevation angle). Below the satellite, the ionosphere (電離層) and atmosphere (対流圏) are depicted. A ground station (地上局) is shown on the left, with a callout box: 電子基準点 GPS信号受信 (Electronic Reference Point: GPS signal reception). The ground station sends signals to the satellite. A central box indicates: 電子航法研究所 補正情報を生成し 準天頂衛星へ送信 (Electronic Navigation Research Institute: Generating correction information and transmitting it to the Quasi-Zenith Satellite). The satellite transmits high-precision correction information (高精度の誤差補正情報) to the ground station and to users. The ground station also transmits GPS signals (GPS互換信号) to the users. The users (利用者) are shown on the right, with a callout box: 利用者(プロトタイプ受信機) GPS信号と補正情報を受信して 高精度・高信頼性の測位 (Users (Prototype Receiver): Receiving GPS signals and correction information for high-precision, high-reliability positioning). The diagram also shows various error sources and their corrections: GPS satellite orbit prediction error (GPS衛星の軌道推定誤差), GPS satellite clock error (GPS衛星の時計誤差), ionosphere delay (電離層遅延), and atmospheric delay (対流圏遅延). A box on the right states: 補正情報により これらの誤差を除去 (Using correction information to eliminate these errors).

JACRAN, No.47 · 48 (2006)

る。そして、高精度・高信頼性の実現のために、国土地理院の電子基準点で得られるデータを利用する。なお、この開発は、SBAS で用いられている方式に基づいて行っている。

図2は、高精度かつ高信頼性を持つ高精度測位補正技術の実験システムである高精度測位補正実験システムの概念図である。

電子基準点で得られたデータを電子航法研究所で収集し、そのデータを用いて、高精度かつ高信頼性の測位を可能にする補正情報を、電子航法研究所におけるテストシステムで生成する。

測位誤差要因には、衛星の軌道推定誤差・時計誤差、電離層や対流圏における伝搬遅延の推定誤差がある。これらの誤差に対する補正情報を生成する。

生成した補正情報は、地上局および準天頂衛星を経由して利用者に送信される。送信周波数は L1 (1575.42MHz) であり、補正情報のデータ伝送速度は 250bps である。利用者はその補正情報を利用することにより、高精度・高信頼性の測位が可能になる。

なお、補正情報を利用者に向けて送信するときに、GPS 互換信号も送信する。

L1-SAIF 信号は SBAS と同様、広域型の補正情報およびインテグリティ情報を含み、かつ追加のレンジング信号 (C/A コード) として利用できる、という特徴を持っており、信号とメッセージ構造は SBAS と同じ仕組みとなっている。L1-SAIF 補正情報データ構造を図3に示す。

8 bits Preamble	6 bits Message ID	212 bits Data	24 bits CRC
--------------------	----------------------	------------------	----------------

図3 L1-SAIF 信号補正情報データ構造

この図のとおり、L1-SAIF 信号に含まれる補正情報のデータ形式は、8ビットのプリアンブル、6ビットのメッセージ ID、そして 24ビットの CRC から構成される。残りの 212ビットがデータフィールドとなるが、これは SBAS と全く同じ構造である。

4. 年次計画 (図4)

図4に示す年次計画は大きく3つに分けられる。すなわち、補正情報を生成する方式を検討する期間、補正情報をリアルタイムで生成するシステムを構築する期間、そして、構築したシステムを評価する期間、である。

平成 15、16 年度において、補正情報を生成する方式を検討し、その方式により、高精度かつ高信頼性の測位が可能であることを、電子基準点のデータをオフラインで用いて検証した。

平成 17 年度から 19 年度にかけては、平成 16 年度までに開発したシステムを改修し、電子基準点のデータをリアルタイムで利用して高精度かつ高信頼性の測位が可能となる補正情報を生成するシステムを開発する。また、この期間には、平行して、プロトタイプ受信機の開発も行う。

平成 20 年度には、補正情報をリアルタイムで生成するシステムとプロトタイプ受信機を組み合わせ、高精度かつ高信頼性の測位が可能であることを実証するための総合試験を実施する。総合試験は、衛星シミュレータを用いて地上で実施する。

そして、平成 21 年度に打ち上げられる予定の準天頂衛星を用いて、平成 22 年度に、実衛星を用いる評価試験を行う。

平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度
(補正情報生成方式開発)		(補正情報リアルタイム生成システム開発)			(実 証 試 験)		
方式調査・ 検討	方式評価	リアルタイム処理システム開発			総合試験	技術実証試験	
評価用ソフトウェア作成		プロトタイプ受信機開発					
						 準天頂衛星 打上げ	

図4 年次計画

5. 研究開発項目

(1) 完全性監視方式の開発

完全性監視とは、利用している衛星測位システムが期待される性能で利用できるかどうか判断することである。利用している衛星測位システムが利用できないと判断されたら、利用者に警報が出される。この警報により、利用者は、安心して衛星測位システムを利用できることになる。このようにして、完全性監視により信頼性が確保できることになる。

(2) 伝搬遅延推定方式の開発

本システムでは、誤差要因毎に誤差を評価して、その誤差に対する補正情報を利用者に送る。誤差要因という場合、具体的には、衛星の位置誤差、電離層や対流圏を通過するときには生ずる遅延誤差、マルチパス誤差、受信機ノイズなどがある。

この研究開発ではこれらの誤差要因のうち、電離層遅延および対流圏遅延を高精度に推定し補正する方式について検討している。

(3) 補正情報作成・配信方式の開発

この開発では、どんな内容の補正情報を、どんな形式で作成し、作成した補正情報を、どんな順番で送信するか、などについて検討する。

(4) プロトタイプ受信機の開発

プロトタイプ受信機というのは利用者用受信機のこと、今回開発しているシステムにより生成された補正情報を用いたときに、どのような測位精度が得られるかなどの評価に利用する。

(5) 評価試験

開発したシステムが、実際に、要求される機能・性能を持っているかを評価するための実証試験を実施する。

6. これまでに得られた成果

6.1 完全性監視方式の検討

人命に関わる用途など安全性の確保が重要な利用者に対して測位情報を提供する場合、その情報を用いることの安全性の度合いについても同時に提供する必要がある。

提供する測位情報についての安全性に関しては、航空機を対象とした静止衛星型衛星航法補強システム SBAS においてのみ、「完全性」として厳密な定義がなされている。

一般に、完全性とは、システムが使われるべきではない時、利用者に対して直ちに（要求された時間内で）そのことを伝えるか、もしくは自らそのサービスを停止できる能力のことである。

電子航法研究所で開発を進めている高精度測位実験システムでは、完全性監視方式として SBAS で用いられている方式を採用することにした。

SBAS では、測位誤差が、利用状況に応じて規定される一定の値（警報限界）以内になっているかを監視するため、プロテクションレベルと呼ばれる量を算出する。ここで、プロテクションレベルとは、所要の確率でその範囲内（真の位置を中心、プロテクションレベルを半径とした円）に測位結果が入っていることを保証するものである（図 5 参照）。プロテクションレベルが警報限界を超えると利用者受信機は警報を発する。こうすることで、利用者が安全にシステムを利用できることを保証する。

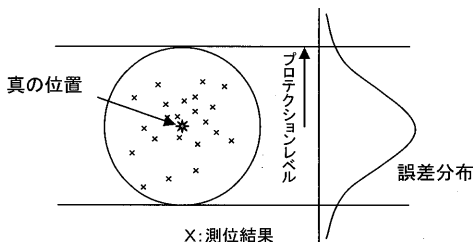


図 5 完全性監視の概念

6.2 伝搬遅延推定方式

6.2.1 電離層遅延推定

電離層遅延には、季節的な変化および日変化があり、また、仰角への依存性がある。遅延量の大きさは、距離換算で、数 m ～数十 m 程度と言われている。

電子航法研究所が開発を進めている高精度測位実験システムでは、SBAS で用いられている電離層遅延量推定方式の改良を行うことで、電離層遅延量の高精度推定を目指している。

まず、SBAS で用いられている電離層遅延量推定方式を簡単に説明する。（図 6）

SBAS では電離層を高度 350 km にある単一の層と仮定する。そして、地上のモニタ局において、この GPS 衛星からの信号を観測して得られる遅延量を、この単一層の中の三角形の点における遅延量であると見なす。こうして得られる三角形の点における遅延量の観測値から、この単一層の上に仮想的に置かれた格子点、すなわち、図の四角形の点における垂直遅延量をマスタ局で推定する。この推定した遅延量により一種の遅延量のマップを作る。そのマップを衛星経由で利用者に送る。利用者は、送られてきたマップに基づき、受信信号の遅延量を推定する。

目標精度を実現するためには SBAS で用いられている電離層遅延量推定方式を改良する必要がある。改良の方法として、電離層格子点間隔の細分化および電離層モデルの多層化が考えられる。また、各格子点における垂直遅延量を観測量から求める方法も改良すべきであると考えられる。

図 7 は、SBAS で用いられている方式に対する改良のうち、電離層を多層化モデル、

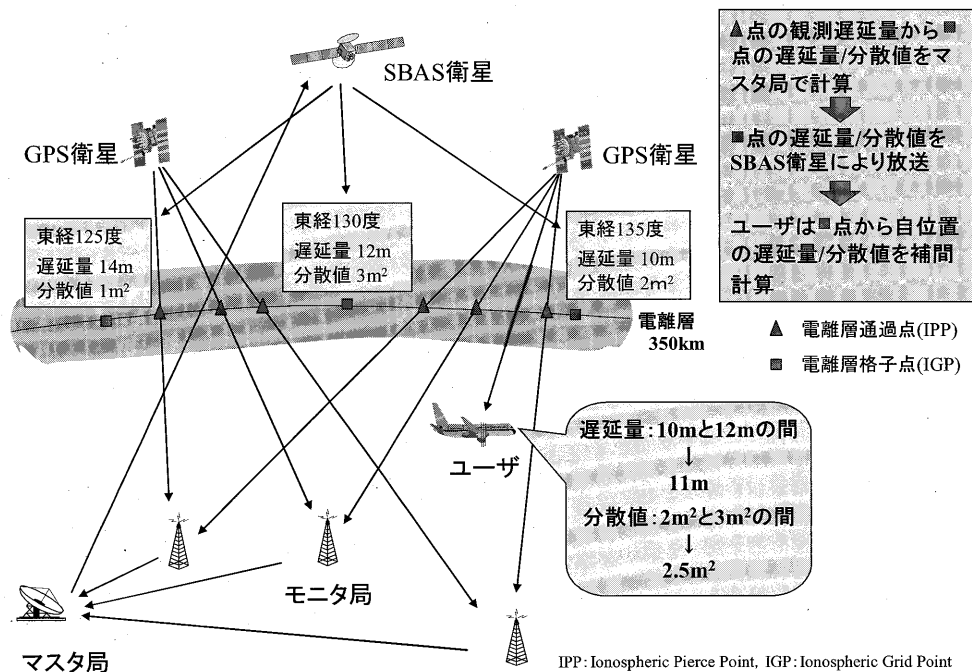


図6 SBASによる電離層補正の概念図

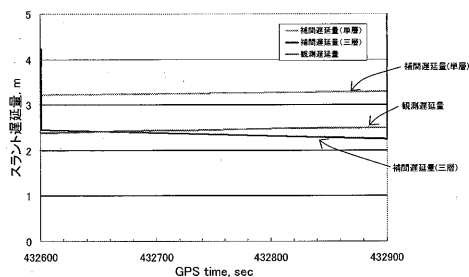


図7 電離層遅延量推定結果の一例

具体的には3層のものとして扱った場合の、電離層遅延量の推定結果の一例である。大宮とPRN14のGPS衛星との間の電離層遅延量について、実測値(図の観測遅延量)と、3層モデルによる推定値(図の補間遅延量(三層))を比較した結果である。モニタ局数は30である。なお、SBASで用いられている「単層モデル」による推定結果は「補間遅延量(単層)」と表されている。

この図の場合、実測値と3層モデル推定値の差は、0.2 m程度となる。一方、実測値と単層モデル推定値の差は、0.7 m程度である。推定目標値は0.4 mなので、3層モデルを用いると、目標値が達成できることが分かる。

6.2.2 対流圏遅延推定

SBASでは、対流圏遅延量を補正情報としては放送せず、利用者側で気温・湿度などの平均値や季節変動を考慮して推定している。日本付近では、季節、場所で水蒸気分布が大陸地域よりも不均質であるため、1 m程度という測位精度を目標とするシステムにおいては、対流圏遅延誤差は考慮しなければいけない課題となる。電離層遅延量に加え、対流圏遅延量も補正することにより、目標とする測位精度の実現が期待で

きと考えられる。

対流圏遅の特徴は、仰角に依存して変化する、季節的な変化、短期的な変化、日変化があるということである。遅延量の大きさは距離に換算して数メートル、また、1日における変動量は垂直方向で20 cm程度と言われている。

対流圏遅延量推定方式は、遅延量を推定する側（テストシステム側、利用者側）、推定の方法などにより分類される。現在、準天頂衛星システムによる高精度測位補正において検討している方式は下記のとおりである（図8参照）。

- ① モデル方式：SBAS で用いられている方式、観測している月日と緯度からモデルを用いて遅延量を推定する方式
- ② ユーザ気象センサ方式：利用者が持つ気象センサのデータを利用して利用者が遅延量を推定する方式
- ③ 広域気象センサ方式：気象庁が配信する気象データを用いてテストシステム側

または利用者側が遅延量を推定する方式

- ④ 広域 GPS データ方式：電子基準点のデータを用いてテストシステム側が遅延量を推定する方式

推定した結果を利用者に送るという方式は、電離層遅延量補正方式と似た方式であると言える。

現在、③および④の方式を中心に、それぞれの方式で補正情報のデータ量がどれくらい必要か、また、それぞれの方式を用いたときにどれくらい正確に遅延量の推定が可能かなどについて、定量的に検討している

図9は電子基準点データを用いて推定した対流圏遅延量の一例である。

図9 (a) は、電子基準点における対流圏遅延量（垂直方向）を示したものである。図9 (b) は、図9 (a) の結果を補間して得られたものである。なお、この図の場合、対流圏遅延量の推定精度は、約2 cmと見積もられている。

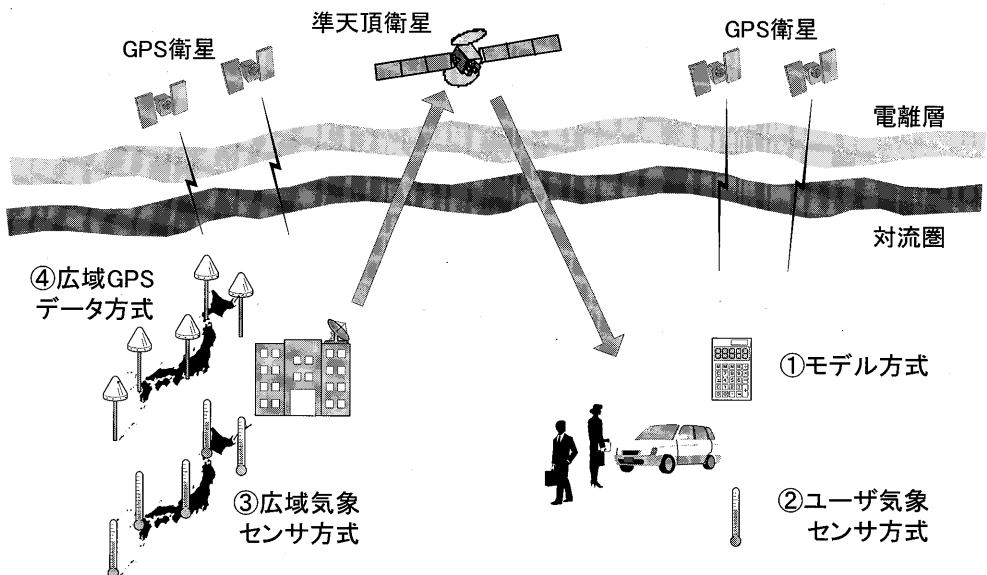


図8 対流圏遅延補正方式概念図

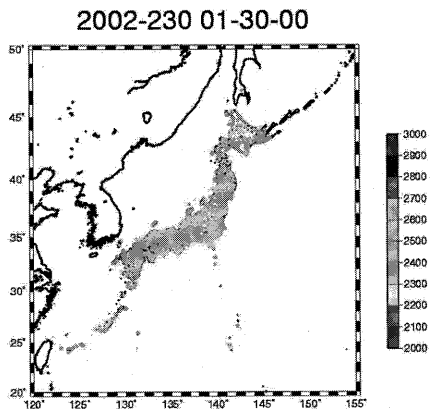


図 9 (a) 対流圏遅延量推定結果例
：補間なし

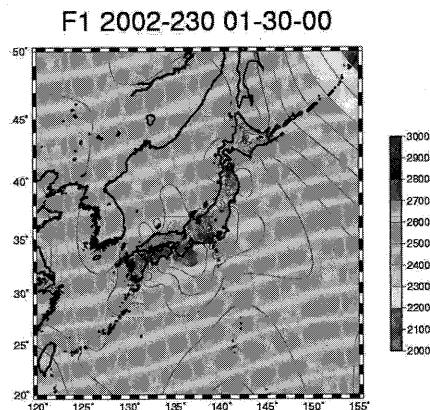


図 9 (b) 対流圏遅延量推定結果例
：補間あり

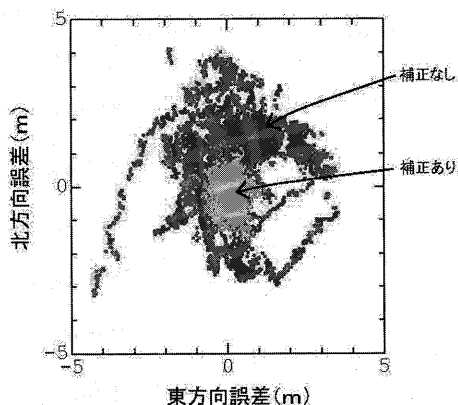


図 10 測定誤差評価結果例

この節では、誤差要因のうち、伝搬遅延に関する検討状況を説明した。衛星の軌道やクロックの推定については宇宙航空研究開発機構が担当しており、電子航法研究所は、その結果を利用して補正情報を生成する。

6.2.3 測位誤差評価結果例

これまで説明してきたような方式で伝搬遅延が推定した場合の測位誤差をオフラインで評価した結果の一例が図 10 に示されている。

図 9 には GPS のみを用いた場合の測位誤差と、GPS からの信号に、現在開発しているシステムで生成された補正情報を適用した場合の測位誤差が示されている。この図から、GPS のみでは測位誤差が 1.84m rms であるが、補正情報を適用すると、0.42m rms に改善されることが分かる。なお、この図は、マルチパスの影響があまり大きくないときの結果である。

6.3 補正情報生成・配信方式の開発

6.3.1 補正情報生成・配信方式の検討

SBAS ではすべての補正量が一度に送信されるわけではない。補正量の種類、すなわち、電離層遅延量や、衛星軌道・クロックの補正量、完全性監視に関する補正量など、それぞれの補正量に対応した「補正情報」が生成される。各補正量に対応した「補正情報」は「メッセージタイプ」と呼ばれる番号で区別される。0 から 63 までのメッセージタイプがあり、SBAS では、そのうちの半分程度が使われているだけである。SBAS では、この補正情報を、適当な順番で送信することで、利用者が必要な補正量

を送信している。

各補正量に対応した「補正情報」の長さは250ビットで、1秒に1個送信される。すなわち伝送速度は250bpsである。

準天頂衛星システム QZSS では、高精度測位を実現するために SBAS の場合よりも多くの補正情報が必要になるので、SBAS で利用されていないメッセージタイプに、高精度測位用補正量を割り当てる。このメッセージタイプには、電離層遅延量を高精度で推定するのに必要な情報や、対流圏遅延量に関する情報が含まれることになる。QZSS で用いられる補正情報のビット構造や伝送速度は SBAS と同じである。

そして、これらの補正情報が有効な時間には限りがある。それぞれの補正情報が有効でなくなる前に補正情報を更新する必要がある。この点を考慮して補正情報の送信順を検討している。

6.3.2 補正情報リアルタイム生成・配信システム

図 11 は平成 17 年度から開発を始めている補正情報リアルタイム生成・配信システムの構成図である。モニタ局データである電子基準点データは日本測量協会から収集する。そのデータを用いて補正情報を生成する。その補正情報は、JAXA 地上局を経由して準天頂衛星に送信される。本システムには、生成した補正情報を保存するデータサーバやシステムを監視する装置も含まれる。また、電子航法研究所に利用者用受信機を設置して、準天頂衛星から放送される補正情報をモニタすることも計画している。

図 12 は補正情報リアルタイム生成・配信システムの外観図である。一番左側のラックが電子基準点データをリアルタイムで収集する装置、その隣が補正情報を生成・配信する装置、右側のラック 2 本はデータサーバである。補正情報を生成・配信する装置については、これまでにすべてのハー

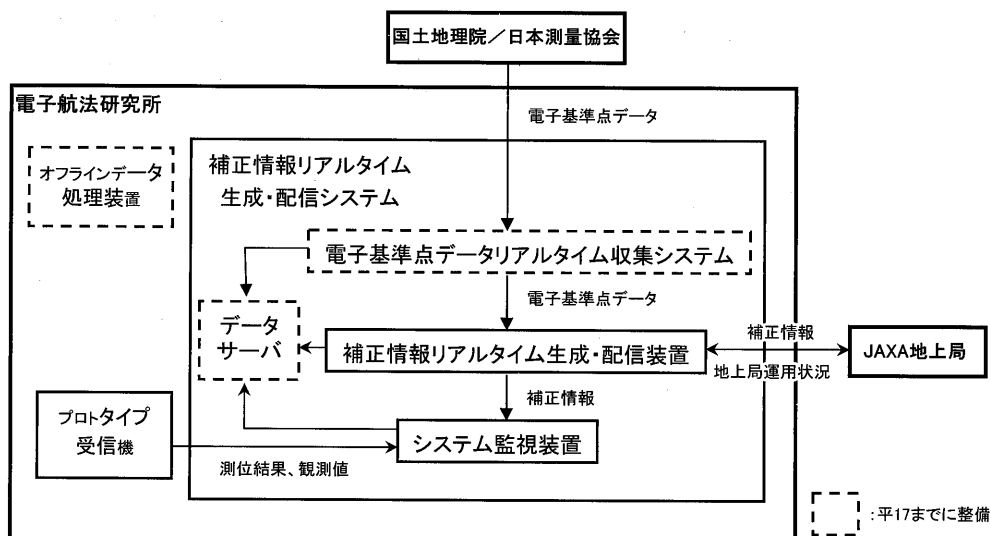


図 11 補正情報リアルタイム生成・配信システム構成図

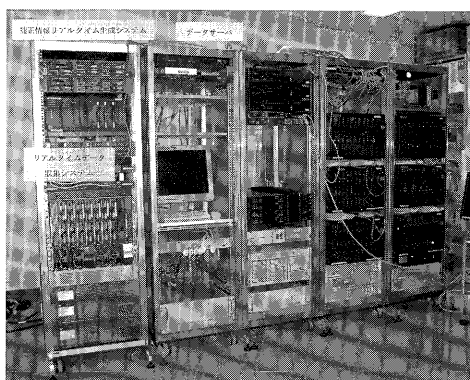


図 12 補正情報リアルタイム生成・配信システム外観図

ドウェアを整備したわけではなく、今後追加する予定である。

6.4 プロトタイプ受信機

平成 17 年度からは利用者用受信機に相当するプロトタイプ受信機の開発を開始していて、図 13 はその構成図である。受信機本体は、信号捕捉・追尾、データ取得を行う信号処理部と、測位計算を行う部分から構成される。受信機で取得されたデータや、測位計算結果は、外部のモニタ用パソコンで表示・処理される。

7. おわりに

ここでは、電子航法研究所で開発を進め

ている高精度測位実験システムの概要について述べた。今後の計画であるが、平成 19 年度までに、補正情報リアルタイムシステムの構築およびプロトタイプ受信機の開発を終了し、平成 20～22 年度にかけて、評価試験を実施する予定である。

参考文献

- (1) Ito, K. et al : “Highly-accurate positioning experiment using a Quasi-Zenith Satellite System at ENRI” , Proc. WSANE, Daejeon, Korea, Mar.3-5, 2005
- (2) 伊藤ほか：“準天頂衛星を用いる高精度測位実験システム”，電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-2-18（2006.9）
- (3) 坂井ほか：“GPS 広域補強システムのプロトタイプ評価”，電子情報通信学会論文誌、J89-B、7、pp.1297-1306、July 2006
- (4) 武市ほか：“サブメータ級測位補正における対流圏遅延補正”，第 50 回宇宙科学技術連合講演会、3B14、Nov. 2006
- (5) 坂井ほか：“準天頂衛星サブメータ級補強信号のエフェメリスメッセージ”，第 50 回宇宙科学技術連合講演会、3B15、Nov. 2006

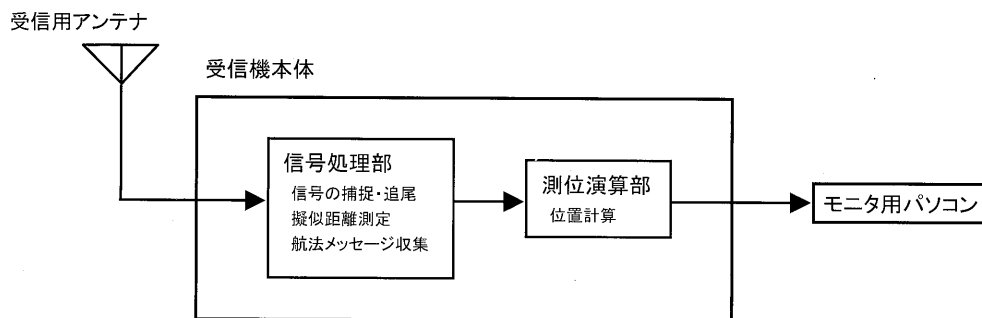


図 13 プロトタイプ受信機構成図

高速 PLC (Power Line Communication) の概要

武蔵工業大学 徳田 正 満

tokuda@cs1.ec.musashi-tech.ac.jp

1. 高速 PLC の原理と利点 [1] [2] [3]

電力線は、機器に電気エネルギーを供給することが主目的であるが、その同じ電力線に情報信号を伝送させる電力線通信 (PLC: Power Line Communication) が存在する。PLC は、元来電力ネットワークの制御用に使用されていたが、一般の情報伝送にも使用できるシステムが開発されている。電力線通信における信号電力と雑音電力の関係を図 1.1 に示す。450kHz 以下の周波数を使用する Echonet システムは電波法で使用が認められている。ところが、450kHz 以下の周波数では、CISPR 規格による規制が今まで国内で実施されていなかったため、電力線内のノイズが極めて多いという問題があり、かつ、高速の伝送ができないため、実用化システムがあまり開発されていない状況である。それに対して、2～30MHz の短波帯を使用した高速 PLC が諸外国で開発され、国内での使用を求め

る動きが活発になってきた。この周波数帯では、電力線の伝導妨害波が CISPR によって規定されており、国内でも妨害波の発生量が規制されているため、450kHz 以下の周波数帯より、ノイズレベルが小さいという特徴がある。

宅内用の高速 PLC の原理を図 1.2 に示すが、家庭内に敷設されている電力線を伝送媒体とし、電源コンセントに接続するだけで、電気エネルギーと情報信号の両方を供給する。図の例では、光ファイバに接続されている PLC モデムで、電圧 100V のエネルギー用電気に情報信号を重畳して電力線に送出している。各部屋にある電力用コンセントに接続された PLC モデムでは、フィルターで電気と情報信号を分離して機器に供給する。高速 PLC を用いた IT 利活用のイメージを図 1.3 に示すが、電源コンセントにプラグを差し込むだけで電気エネルギーと情報信号の両方が供給されるの

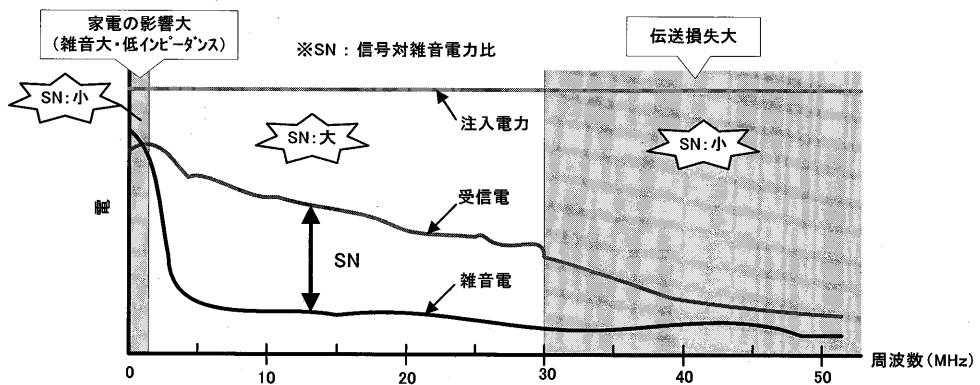
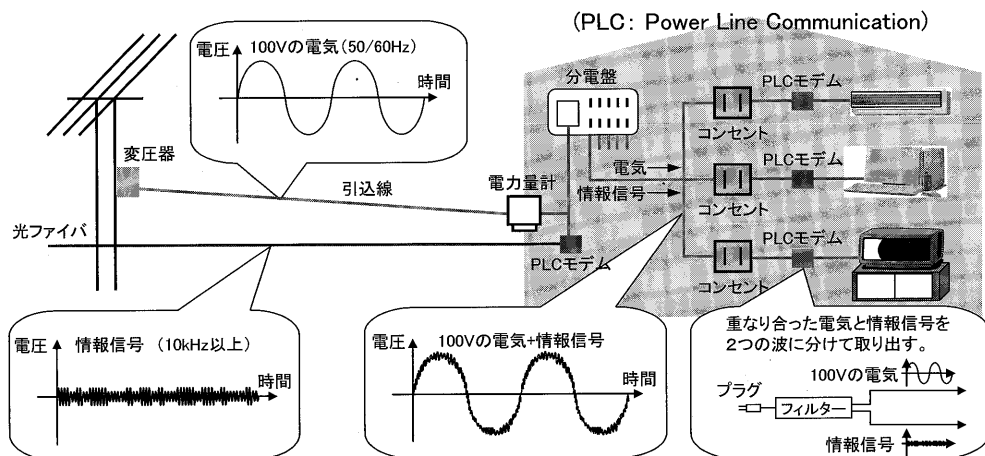


図 1.1 電力線通信における信号電力と雑音電力の関係

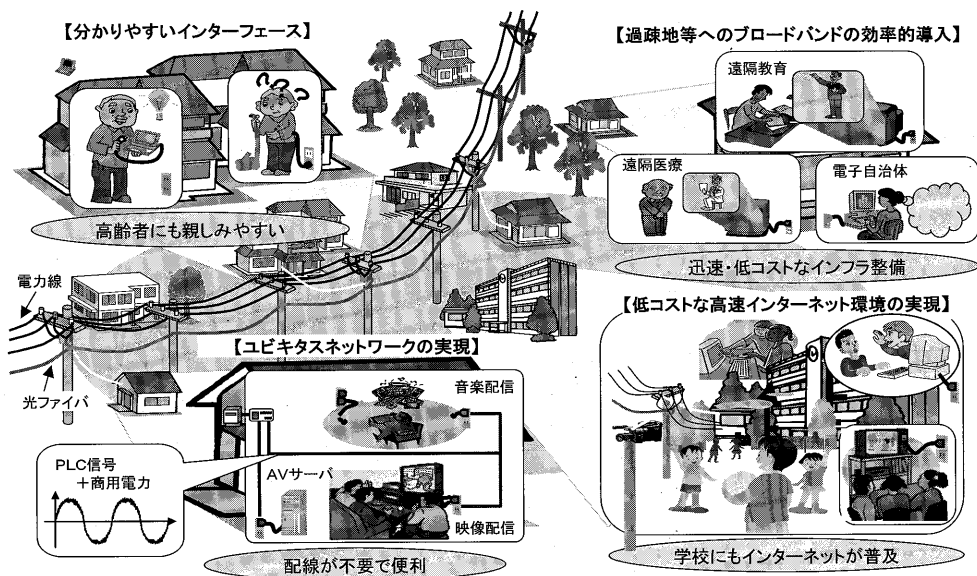


で、高齢者も親しめるような、非常に分かりやすいインターフェースである。また、既設の電力線をそのまま利用できるため、経済的なシステムが構築できる。そのため、一般家庭ばかりでなく、既築マンションや学校等でも容易に IT を導入できる可能性がある。このように簡単にシステムが構成できるにもかかわらず、現状の技術で最大

200Mbps の高速の伝送が可能なのも大きな利点である。

2. 高速 PLC における技術課題[1][2][3]

高速 PLC における技術課題を図 2.1 に示す。電力線は電話線と異なり、バス配線になっており、多種多様な機器が電力線に接続されているため、機器の接続状態や稼



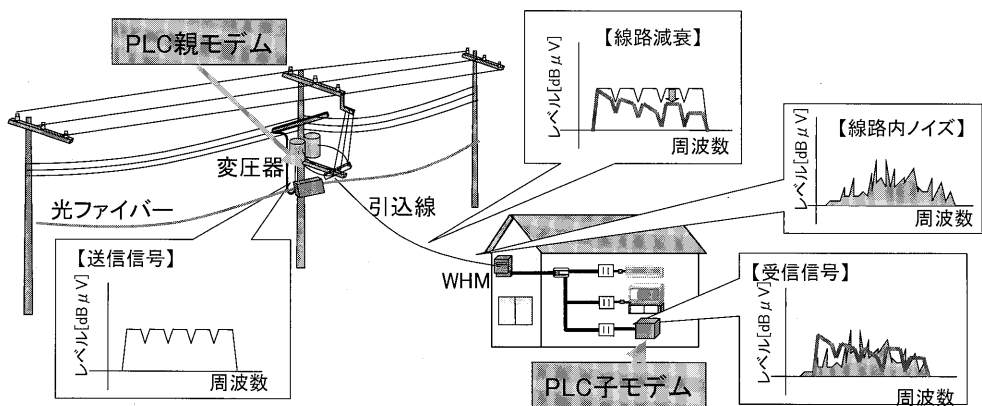
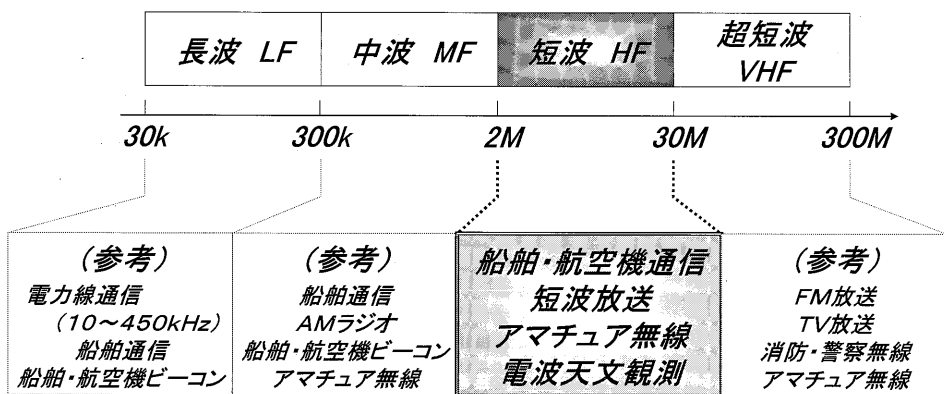


図 2.1 高速 PLC おける技術課題のイメージ図

働状態によって、電力線のインピーダンス、伝送路損失、雑音レベルが大きく変動する。このような状態でも、安定した高速通信を実現するためには、従来の有線通信に使われている技術よりは、OFDM（直交周波数分割多重）変調やスペクトル拡散等の無線通信に使用されている技術を採用する必要がある。

一方、電力線は電話線と異なり、対地との平衡度が悪いため、伝送信号であるディファレンシャルモードがコモンモードに変

換されて、漏洩電波として放射される可能性が高い。図 2.2 に示すように、高速 PLC で使用しようとしている周波数帯は短波帯であるが、短波帯は電離層で反射されて地球の裏側まで伝搬する特殊な周波数帯のため、船舶・航空機通信、短波放送、アマチュア無線、電波天文観測等の重要な無線通信システムが多数存在する。従って、それらの無線通信システムに影響を及ぼさないような、漏洩電波低減技術の開発が極めて重要である。



高速PLCの実用化にあたっては、
既存無線との共存をはからなければならない。

図 2.2 高速 PLC の使用周波数帯と既存無線設備の関係

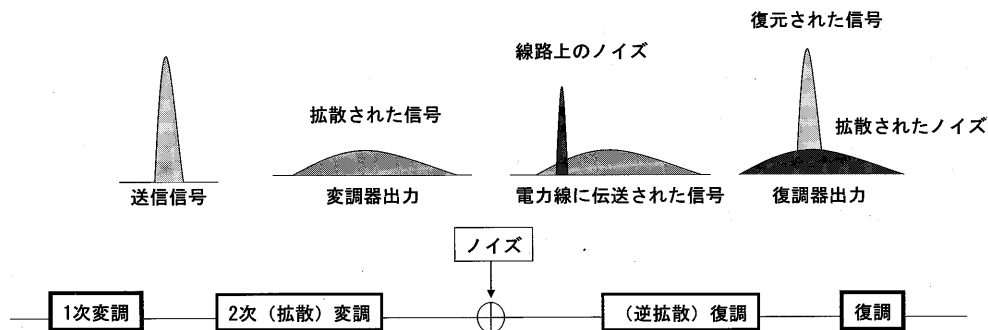


図 3.1 スペクトル拡散方式の基本構成

3. 高速 PLC で使われている信号伝送方式 [1] [2] [3]

3.1 スペクトル拡散通信

スペクトル拡散方式は、第3代の携帯電話に採用された方式であり、ノイズに強いことが特徴である。図3.1にスペクトル拡散方式の基本構成を示すが、1次変調で振幅変調(ASK)や位相変調(PSK)をした信号を、擬似ランダム信号で2次(拡散)変調することによって、広い周波数帯域に拡散する。送信部では、拡散された信号を電力線等の伝送媒体に送出する。伝送媒体を伝送してきた拡散信号は、受信部で擬似ランダム信号によって逆拡散され、さらに、1次変調と逆の復調によって元の信号を復元する。たとえば、伝送媒体で狭帯域のノイズが印加されても、図3.1に示すように、復調器では拡散されてしまうため、ノイズに影響されずに復調することができる。

電力線通信でも、後述する表6.1に示すように、最初に開発された高速PLCモデルは、スペクトル拡散方式を採用していた。しかし、次節で述べるように、OFDM(直交周波数分割多重)技術が進展して高速のPLCが実現できるようになると、スペクトル拡散技術はあまり適用されなくなって

きている。

3.2 OFDM(直交周波数分割多重)通信

OFDMはデジタルTV、無線LAN、ADSL(非対称デジタル加入者回線)等の通信方式に適用されており、マルチパス伝送路に強い方式として最近注目されている。OFDMでは、高速の直列伝送符号を多数の低速な並列伝送符号に変換して、多数のキャリア周波数を変調して信号を伝送する。マルチパスによる伝搬時間差はパルス波形を歪ませるが、高速な伝送信号ではその歪みの影響を強く受けるが、低速な信号はその影響が少なくなく、パルス波形の立ち上がりや立ち下りの部分にのみ限定される。その部分をガードインターバルとして除去すれば、マルチパスの影響を全く受けないようにすることが可能である。同

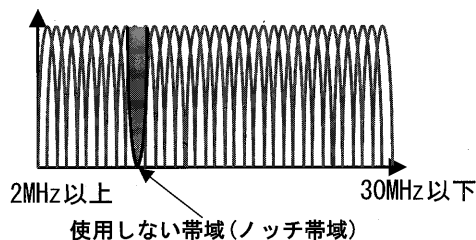


図 3.2 OFDMの周波数配置とノッチ帯域

じ情報量をマルチキャリアで伝送すると、シングルキャリアよりも広い帯域幅を確保する必要があるが、OFDMでは図3.2に示すように、多数のキャリアのスペクトルを相互に重なるように配置することにより、帯域幅の拡大を最小限に押さえている。通常は、スペクトルが重なると相互に干渉するが、あるスペクトルのレベルが零になる周波数に隣のスペクトルの中心周波数が来るように配置すると、それらのスペクトルは周波数領域では相互に直交しているため、干渉することはない。このようにして、OFDMでは、周波数帯域幅をあまり増加させずに、かつマルチパス伝送路に強い伝

送方式を実現している。OFDMでは、各サブキャリアの変調方式や送出レベルを個別に設定できるため、高速PLCからの漏洩電波が他システムに影響を与える場合は、問題のサブキャリア周波数を使用しないか、または送出レベルを下げる等の設定ができる。一方、放送送信所の近傍に設置された高速PLCシステムで、特定の周波数に強い妨害を受ける場合も、その周波数の変調方式をBPSK等の強い変調にしたり、その周波数を使用しないと言う設定をすることにより、受信障害を最小限に押さえることが可能である。

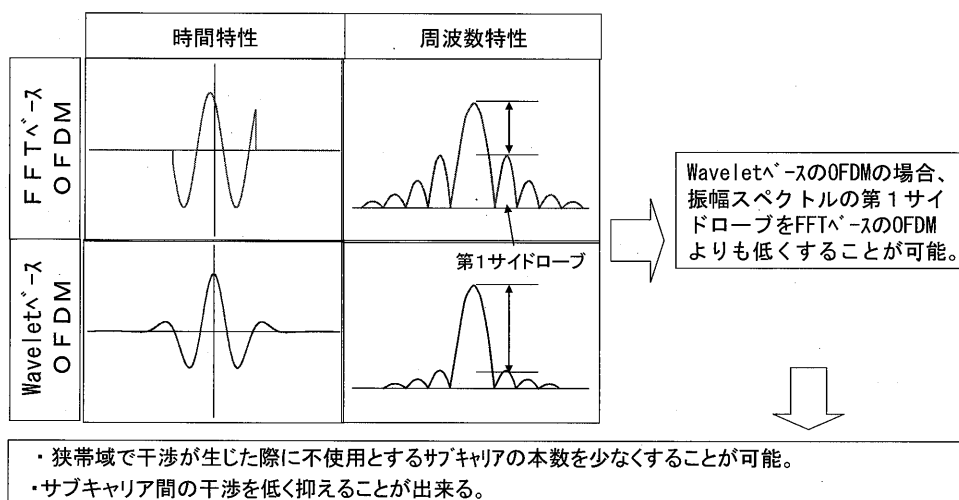


図3.3 FFT変換OFDMと比較した場合のWavelet変換OFDMの特徴

従来のOFDM変調では、高速フーリエ変換(FFT)を使用していたが、その場合は図3.3に示すように、最大振幅のメインローブと第一サイドローブの差が13dB程度のため、より大きなレベル低下が必要な場合は、複数のサブキャリアを除いてノッチ帯域を構成するか、またはサブキャリアのエンベロープの時間波形をよりなめらか

にするなどの工夫をする必要がある。それに対して、ウェーブレット変換を使用すると、図3.4に示すように、メインローブと第一サイドローブの差を35dB以上にすることが可能となり、レベル低下の大きなノッチ帯域を比較的簡単に実現でき、漏洩電波を極めて少なくできる可能性がある。なお、メインローブと第一サイドローブの

差がウェーブレット変換で大きくなった理由は、FFTでは周波数領域の直交性しか確保されていないのに対し、ウェーブレッ

ト変換では周波数領域ばかりでなく時間領域でも直交性が確保されているためである。

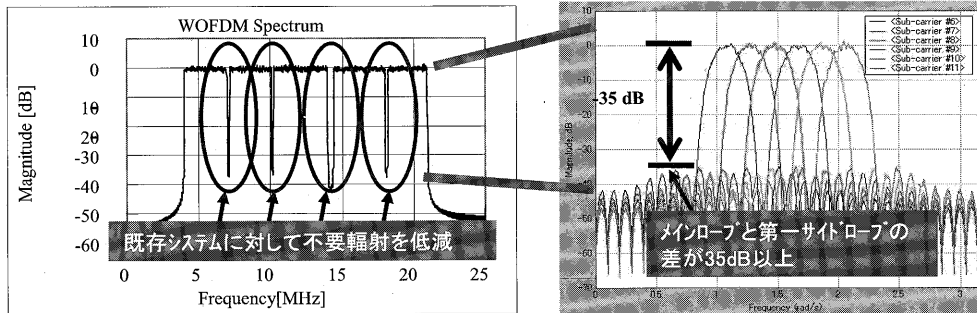


図 3.4 ウェーブレット変換 OFDM のスペクトル

総務省として、電力線搬送通信設備と既存の無線通信との共用の可能性等について検討を行うために、2002年4月から7月まで開催

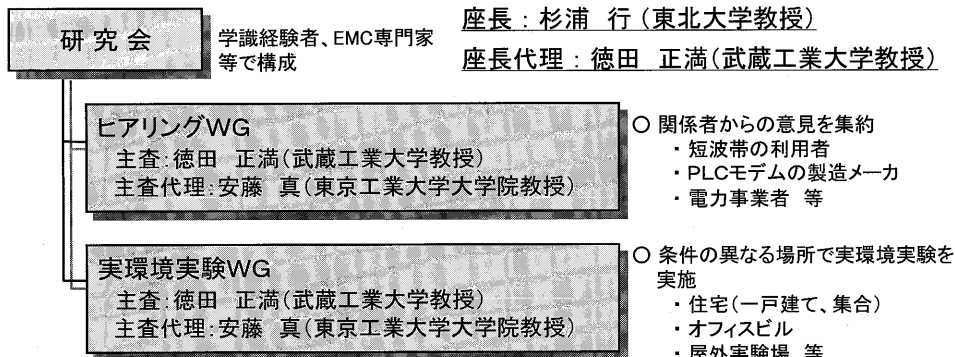


図 4.1 電力線搬送通信設備に関する 2002 年度総務省研究会の組織

4. 高速 PLC の実現に向けた国内の取り組み [1] [2] [3]

高速 PLC では、2 ～ 30MHz の短波帯を使用するが、現状では 450kHz 以下の周波数しか認められていないため、規制緩和に向けた検討が電波産業会 (ARIB) で 2001 年 4 月に開始された。また、「e-Japan 重点計画 -2002」においても、「電力線搬送通信

設備に使用する周波数帯域の拡大 (2 ～ 30MHz を追加) について、放送その他の無線業務への影響について調査を行い、その帯域の利用の可能性について検討し、2002 年度中に結論を得る」とされた。そのために総務省では、図 4.1 に示すような「電力線搬送通信設備に関する研究会」(座長・杉浦東北大学教授) を 2002 年 4 月に発足

した。その研究会では、ヒヤリング WG と実環境実験 WG の 2 つの WG を組織されたが、筆者は両方の WG の主査として研究会に参画した。ところが、2002 年 7 月末に、「□現状の技術では既存無線設備に対して有害な混信源となりうるため、周波数を拡大することは困難。しかし、今後

漏洩電界強度を大幅に低減する技術開発が期待されることから、研究開発等を継続することが必要。□研究開発を促進するため、実証実験を今後も実施する必要がある、そのための制度整備（研究開発目的の設備の許可制度）が必要。」等の結論を研究会として出した [4]。

一活動内容

- ・高速電力線通信を利用するための技術基準（漏えい電磁界強度等）に関する検討
- ・高速電力線通信を実現するための技術（漏えい抑圧技術等）及び実用化手段の検討
- ・電力線通信の普及啓発活動
- ・その他、本協議会の目的を達成するために必要な活動

一会員各社（2006 年 4 月現在）

- ・A 会員 関西電力、きんでん、住友電気工業、東京電力、東洋ネットワークシステムズ、日本電気、ネットインデックス、日立製作所、富士通アクセス、松下電器産業、松下電工、三菱電機、ラインコム（合計 13 社）
- ・B 会員 アーサー・ディ・リトル、伊藤忠商事、大崎電気工業、沖縄電力、川口電機製作所、関電工、京セラコミュニケーションシステム、KDDI 研究所、四国電力、GMO インターネット情報通信総合研究所、住友商事、セガ、ゼルライン・ジャパン、双日システムズ、ソニー、ソフトバンク BB、第一興商、中国電力、中部電力、東京エネシス、東北電力トーエネック、トレンドマイクロ、トワダ・ウェルデザイン、日鉄エレックス、日本ブレインウェア、ネットギア・インターナショナル・インク、ノーザ、野村総合研究所、日立電線、古河電気工業、北海道電力、三井物産、三菱ビルテクノサービス、三菱マテリアル、ユービー・アイエヌティ、鷹山（合計 38 社）
- ・特別会員

武蔵工業大学 徳田教授

図 4.2 高速電力線通信推進協議会 (PLC-J) の概要

上記研究会の結論を受けて、国内での高速 PLC の早期商用化を目指すために、図 4.2 に示すような高速電力線通信推進協議会 (PLC-J) が 2003 年 3 月に設立された。A 会員の中で、赤字で記載された 10 社が発足時の会社である。筆者も特別会員として、発足時から参加している。PLC-J が積極的に総務省に働きかけた結果、研究開発目的の実証試験が可能なように電波法が改正され、2004 年 1 月に官報に公示された。その結果、図 4.3 に示すように、3 月から PLC-J 会員会社を中心として実証試験が開始されたが、全体的に良好な結果が得られ

ており、漏洩電波に対する低減技術が確認されている。

上記の漏洩電波低減技術に対する結果を受けて、高速 PLC の商用を可能とするために、PLC の適用周波数を 30MHz まで拡大するための研究会設置を総務省に要望した結果、「高速電力線搬送通信に関する研究会」が 2005 年 1 月末に発足した。座長は 2002 年の時と同じく杉浦東北大学教授である。12 回の研究会が開催され、漏洩電波に対する様々な許容値案が提案されたが、2005 年 12 月に高速 PLC 研究会とし

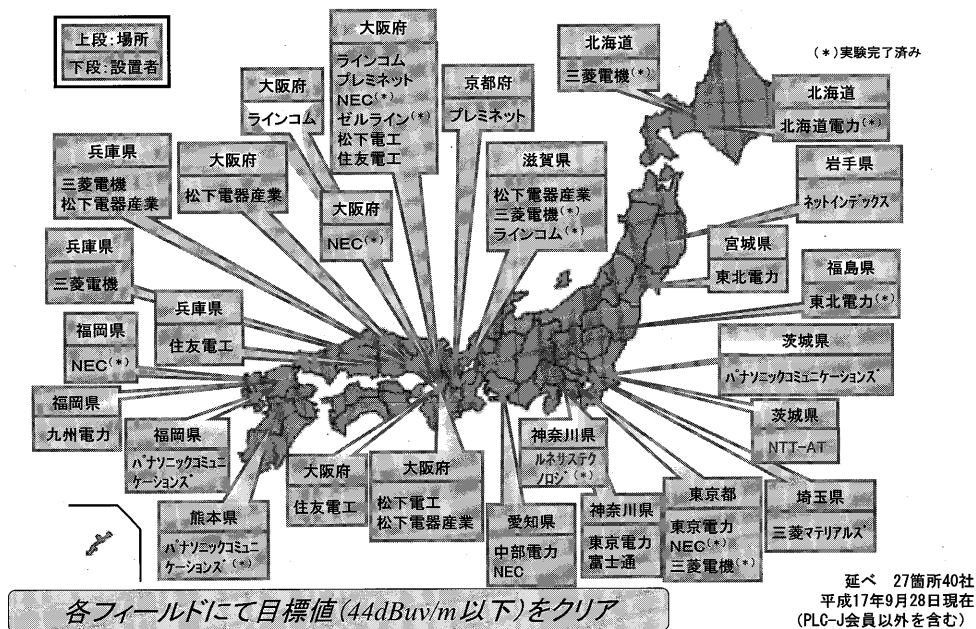


図 4.3 高速 PLC の実証実験の概要

●共存条件に対する考え方：

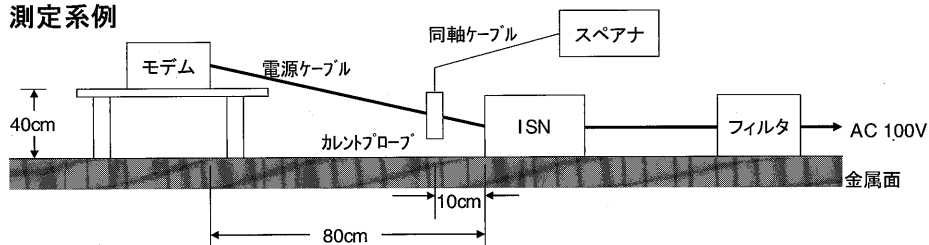
PLCからの漏えい電界強度が、受信点において
周囲雑音レベル以下となること

●制限値：

電線内に発生するCMI（コモンモード電流値）が、30dBμA以下

<測定方法>

・測定事例



・ISN（インピーダンス安定化回路網）の重要パラメータ

- LCL（縦電圧変換損）： 16dB（99%値）
- CMZ（コモンモードインピーダンス）： 25Ω

出典：総務省（高速電力線搬送通信に関する研究会）

図 4.4 高速電力線搬送通信に関する 2005 年度総務省研究会の結論

での結論が出され、国際標準の動向よりかなり厳しい LCL (Longitudinal Conversion Loss: 縦電圧変換損) が決定された [5]。図 4.4 に許容値案の概要が示されているが、高速 PLC からの漏洩電波を、隣家の受信点において周囲雑音レベル以下にするため、電力線に発生するコモンモード電流を $30\text{dB } \mu\text{A}$ 以下にしている。また、電力線の平衡度を模擬するため、LCL が 16dB の ISN (インピーダンス安定化回路網) を使用して、コモンモード電流を測定している。

上記研究会の結論を受けて、2006 年 2 月に、情報通信審議会情報通信技術分科会 CISPR 委員会 (総務省) の中に高速電力線搬送通信設備小委員会が設置されて、技術

基準の検討が開始された。2006 年 6 月末に情報通信審議会の審議が終了し、周波数 $15\text{--}30\text{MHz}$ でコモンモード電流を $30\text{dB } \mu\text{A}$ から $20\text{dB } \mu\text{A}$ に厳しくすることが決定された [6]。その後、電波監理審議会でも制度整備に関する審議が行われていたが、設備設置許可の慎重な審査や混信対策を徹底することを条件に、2006 年 9 月に高速 PLC の解禁を容認する答申が出された。その後、省令改正の手続きを実施し、2006 年 10 月初旬に官報に公示された。これにより、高速 PLC の実用化が開始され、12 月初旬に高速 PLC モデムに対する国産 1 号機が販売される予定である。

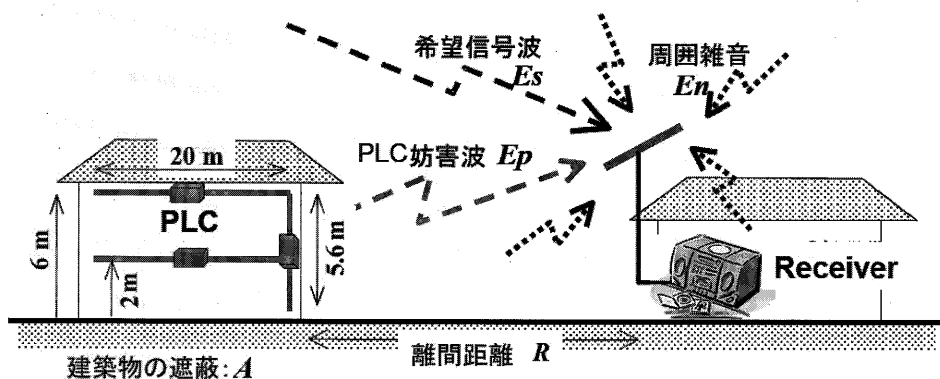


図 5.1 高速 PLC による漏洩電波の許容値を算出用屋内配線モデル

5. 高速 PLC からの漏洩電波に対する国内規格

2006 年度に開催された総務省の研究会では、電力線からの漏洩電波に対する許容値に関する案が議論されたが、最終的に図 4.4 に示すような座長案がパブコメに提案された [5]。CISPR では、隣家に存在するラジオや TV 等の無線受信機に受信障害を発生させないという観点から、受信アン

テナ点における電界強度を規定している。高速 PLC による漏洩電波の許容値を算出するための屋内配線モデルを図 5.1 に示す。2階建ての建物に PLC モデムが設置されており、それからの漏洩妨害波 E_p が、隣家に存在する放送受信機のアンテナに到達する。一方、放送受信機の希望信号波 E_s と周囲雑音 E_n も放送受信機のアンテナの周囲に存在している。PLC からの漏洩妨

害波 E_p を表 5.1 の表で示しているが、「10 m 点の PLC 妨害波 E_p (10 m)」が、隣家に存在する放送受信機のアンテナに到達した漏洩妨害波 E_p に相当する。しかし、30MHz 以下の周波数では、電力線や通信線を伝導する妨害波が受信障害の主要因になるとして、伝導性妨害波に対する許容値が定められている。表 5.1 の表では、「PLC

信号電流のコモンモード成分 I_{com} 」が、その値に対応する。電力線の場合も通信線と同様に、コモンモード電流と漏洩電界の間に比例関係があり、コモンモード電流が増加する、すなわち漏洩電界を増加する最大の要因が電力線の LCL にあることも明らかにしている。

表 5.1 PLC 信号電流のコモンモード成分の許容値算出根拠

	周波数帯 (MHz)	無線局空中線が受信する PLC 妨害波 E_p (dB μ V/m)	離隔距離 R (m)	離隔距離と 10m 間の減衰 L (dB)	建築物の遮蔽 A (dB)	10m 点の PLC 妨害波 E_p (10m) (dB μ V/m)
田園環境	2-10	6	30	18	17	41
	10-30	3	30	14	10	27
商業環境	2-10	16	10	0	27	43
	10-30	12	10	0	27	39

	周波数帯 (MHz)	10m 点の PLC 妨害波 E_p (10m) (dB μ V/m)	10m 点の妨害波とコモンモード電流の比 Z (dB Ω /m)	QP/RMS 換算値 K (dB)	PLC 信号電流のコモンモード成分 I_{com} (dB μ A)	
					準尖頭値	平均値
田園環境	2-10	41	15	10	36.0	26.0
	10-30	27	16	10	21.0	11.0
商業環境	2-10	43	15	10	38.0	28.0
	10-30	39	16	10	33.0	22.0
平均値					32.0	22.0

図 4.4 では、コモンモード電流の許容値が準尖頭値で 30dB μ A 以下であれば、隣家への受信障害が避けられることを意味している。この値は、パソコン等の情報技術装置に適用される国際規格 CISPR22 の通信線経由で放出する妨害波電流許容値と同等である。次に、電力線の漏洩電界に対する特性は通信線ほど良くはないため、そのことを反映する必要がある。図 4.4 では、電力線が通信状態の時に適用する測定法に、通信線で使用したときと同様な回路構成のインピーダンス安定化回路 (ISN) を

使うとしている。ただし、LCL とコモンモードインピーダンスに関しては、電力線の実態値を用いることにしている。高速電力線通信推進協議会と情報通信ネットワーク産業協会 (CIAJ) が共同で測定した LCL の結果を図 5.2 に示す。図 5.2 から、LCL の平均値が 35.5dB、90%値が 24.1dB であるが、図 4.4 では、99%値の 16dB を採用している [5]。この値は非常に厳しい値であり、電力線通信のモデム開発メーカーにとっては、非常に重い課題を投げかけていると言える。国際規格を審議している CISPR でも、

LCLを30dBと主張する欧米各国と25dBを主張する日本が対立して、国際規格にできなかったという経緯があるため、LCLが16dBというのは非常に厳しい値であり、国際規格にどう反映するかが、今後の重要な課題である。もし、国際規格が30dBに

決まるとすると、外国のモデムメーカーを閉め出す可能性があり、貿易障壁として問題になる可能性があるため、これにどのように対応するかが、今後の総務省における重要な課題であるとする。

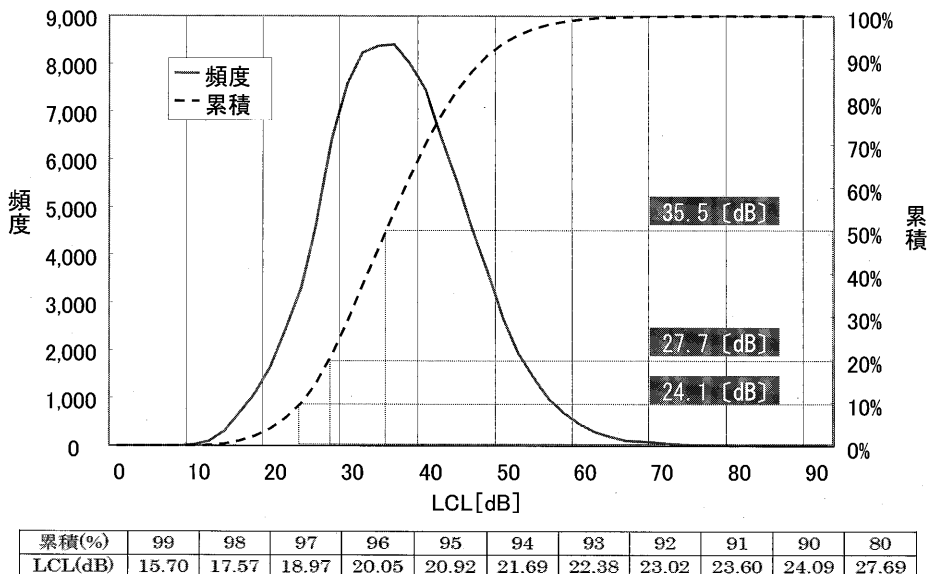


図 5.2 屋内の電力線に対する LCL の実態値

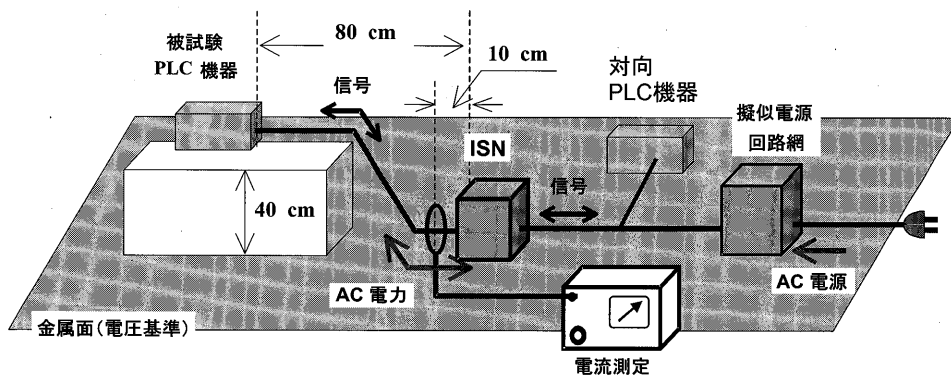


図 5.3 PLC モデムから放出するコモンモード電流の測定系

図 4.4 に示した測定法を実現する方法として、図 5.3 のような測定系が提案されている。基本的には、通信線経由の妨害波を

測定する方法に準拠しているが、PLC モデムには、通信線のモデムと異なり、電力線しか接続されていないため、その部分を

工夫する必要がある。被試験 PLC 機器から出た電力線は、図 4.4 で規定された ISN で終端され、その間でコモンモード電流が電流プローブ等で検出される。その間、被試験 PLC 機器を動作状態にするために、ISN を介して対向 PLC 機器と通信できるようにしている [5]。

図 4.4 に示した総務省研究会の結論を受けて、2006 年 2 月に、情報通信審議会情報通信技術分科会 CISPR 委員会（総務省）の中に高速電力線搬送通信設備小委員会が設置され、技術基準の検討が開始された。2006 年 6 月末に情報通信審議会の審議が終了し、表 5.2 に示すような高速 PLC 設備に対する電磁妨害波の許容値が提案された。図 4.4 では、通信状態における電力線

の伝導妨害波のみしか規定されていなかったが、表 5.2 では、非通信状態の電源線端子伝導妨害波や、通信線端子経由の伝導妨害波、放射妨害波も規定されている。新たに追加された妨害波の規格は、情報技術装置に対する妨害波許容値を規定する CISPR22 に準拠している。総務省研究会の結論を記載した図 4.4 と情報通信審議会情報通信技術分科会 CISPR 委員会の結論を記載した表 5.2 を比較すると、周波数 15-30MHz でコモンモード電流が図 4.4 では 30dB μ A であったものが、表 5.2 では 20dB μ A に厳しくなっている [6]。これは、高速 PLC モデムにとっては、非常に厳しい規定であり、モデムの開発を再度やり直すメーカーも出てくることが想定される。

表 5.2 高速 PLC 設備に対する電磁妨害波の許容値 (CISPR 委員会)

	測定点	通信状態	非通信状態
伝導妨害波	電源端子	0.15MHz ～ 0.5MHz 〈QP〉 36 ～ 26dB μ A (注 1) 〈Av〉 26 ～ 16dB μ A (注 1) ISN1 を使用	0.15MHz ～ 0.5MHz 〈QP〉 66 ～ 56dB μ V (注 1) 〈Av〉 56 ～ 46dB μ V (注 1) AMN 使用
		0.5MHz ～ 2MHz 〈QP〉 26dB μ A 〈Av〉 16dB μ A ISN1 を使用	0.5MHz ～ 5MHz 〈QP〉 56dB μ V 〈Av〉 46dB μ V AMN 使用
		2MHz ～ 15MHz 〈QP〉 30dB μ A 〈Av〉 20dB μ A ISN1 を使用	5MHz ～ 15MHz 〈QP〉 60dB μ V 〈Av〉 50dB μ V AMN 使用
		15MHz ～ 30MHz 〈QP〉 20dB μ A 〈Av〉 10dB μ A ISN1 を使用	15MHz ～ 30MHz 〈QP〉 60dB μ V 〈Av〉 50dB μ V AMN 使用
放射妨害波	距離 10 m	30MHz ～ 230MHz 〈QP〉 30dB μ V/m	
		230MHz ～ 1000MHz 〈QP〉 37dB μ V/m	

〈QP〉及び〈Av〉は、それぞれ準尖頭値及び平均値を表す。
ISN1及びISN2は、それぞれ電源端子用及び通信端子用のインピーダンス安定化回路網を表す。
AMNは、擬似電源回路網を表す。
周波数範囲の境界においては、低い方の許容値を適用する。
(注1) 許容値は、周波数の対数に対して直線的に減少するものとする。

6. 高速 PLC に対する海外の状況

海外における高速 PLC の導入状況を図 6.1 に示す。アメリカ、ドイツ、スペイン等の国では、高速 PLC が商用導入されている。また、韓国では、2005 年 7 月に規制緩和済みである。一方、イギリス、フランス、中国等でも実証実験をしている。中

国では、既存の電話回線に関するインフラが不十分なため、PLC に対する期待は極めて高い。スペインでは、日本のメーカーが高速 PLC モデムを提供しており、モデムの開発力は十分なため、日本国内でも早期の商用導入が待たれていた。

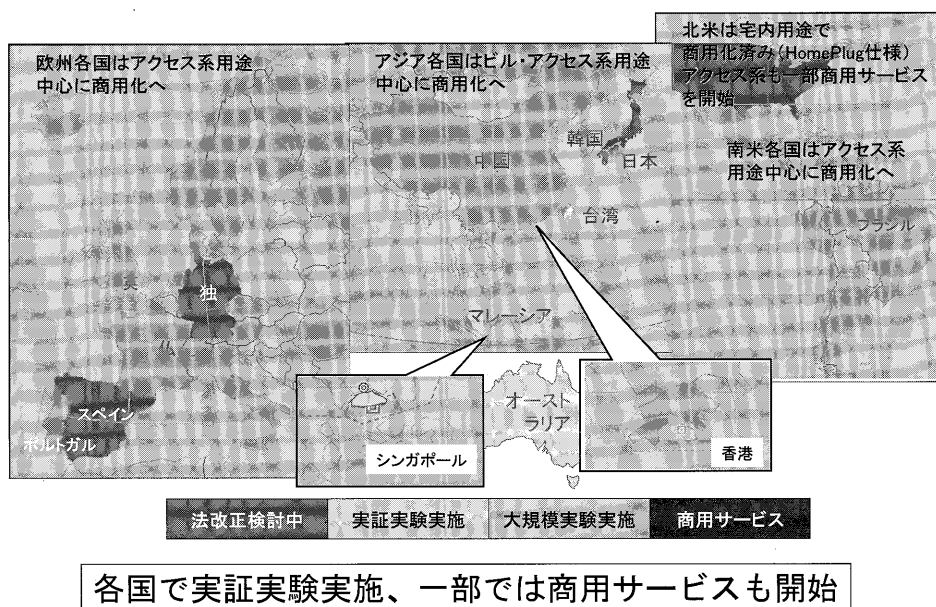


図 6.1 高速 PLC の海外における導入状況 (アクセス系)

高速 PLC 用のモデムチップを表 6.1 に示すが、変調方式としてマルチキャリアや OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) を採用しているものが大部分であり、直接拡散のスペクトル方式を使用しているものは、極わずかである。OFDM を使用して、200Mbps ものデータ伝送速度を有する PLC モデムもすでに開発されている。PLC チップメーカーは、Yitran, Intellon, Xeline, DS2 等の海外メーカーが主体であるが、松下電器ではウェーブレット OFDM を用いた PLC チップを開発

した。

参考文献

- (1) 電気学会ホームネットワークと EMC 調査専門委員会編 (委員長：徳田正満)：ホームネットワークと EMC、オーム社 (2006)
- (2) 徳田正満：高速電力線通信と EMC、電磁環境工学情報 EMC (1)、No.213, pp.112-123, 2006.1.
- (3) 徳田正満：高速電力線通信と EMC、電磁環境工学情報 EMC (2)、No.214,

表 6.1 国内外の高速 PLC モデムの開発状況

速度	製造者 (チップ供給者)	製品概要	使用国	製品状態
	ラインコム プレミネット (Yitran)	 変調方式: DS-SS 最大速度: 2.5Mbps	中国 ドイツ※	販売中 ※ドイツは別メーカー
	ネットギア (Intellon)	 変調方式: OFDM 最大速度: 14Mbps	米国	販売中 (\$70~\$100程度)
	ゼルライン (Xeline)	 変調方式: DMT 最大速度: 24Mbps	韓国 中国	販売中
	ラインコム プレミネット (Yitran)	 変調方式: Adaptive DS-SS 最大速度: 32Mbps	開発中	チップ化完了
	松下電産 (PCG)	 変調方式: Wavelet OFDM 最大速度: 190Mbps	アメリカ	販売中 (\$120~\$130程度)
	三菱電機 (DS2)	 変調方式: OFDM 最大速度: 200Mbps	欧州諸国 アメリカ	販売中
	日本電気 東洋ネットワークシステムズ (DS2)	 変調方式: OFDM 最大速度: 200Mbps	欧州諸国	販売中
	住友電工 (DS2)	 変調方式: OFDM 最大速度: 200Mbps	欧州諸国	販売中

pp.66-77, 2006.2.

- (4) 総務省報道資料:「電力線搬送通信設備に関する研究会」報告書(2002)

http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020809_4.html

- (5) 高速電力線搬送通信に関する研究会、“高速電力線搬送通信に関する研究会報告書”、総務省総合通信基盤局電波部電波環境課、Dec. 2005.

http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/051226_6.html

- (6) 「高速電力線搬送通信設備に係る許容値及び測定法」について答申, 総務省総合通信基盤局電波部電波環境課, June 2006.

http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/060629_3.html

高速 PLC の概要と当社の取り組み

三菱電機株式会社 森田 淳士

1. はじめに

2006年10月4日に電波法施行規則などの電波法関連省令が改正され、日本国内で、2MHz～30MHz帯を使用した高速電力線通信(PLC: Power Line Communication)が屋内において利用可能となった。

高速PLCは、既に敷設されている電力線を利用するため、新規の通信線の敷設が不要というメリットがあること、無線LANと同等の性能があることなどから注目を集めている。

ここでは、高速PLC技術の概要、規制緩和の内容について説明するとともに、三菱電機の取り組みを紹介し、船舶適用に向けた実験結果について述べる。

2. 高速電力線通信とは

電力線は、家電機器やその他の機器に電気エネルギーを供給することを目的としているが、この電力線を使って、情報信号を高速に伝送させる電力線通信技術が近年注目を集めている。PLCは元来、電力会社の施設間を結ぶ保安通信や使用した電力量を遠隔から読み取る自動検針などの通信インフラ技術の1つとして活用されてきたが、従来は、1200bpsや2400bpsなどと非常に低速な通信技術として利用されてきた。本文では、電力線に2MHz～30MHzの高周波信号を重畳し、インターネットなど一般の情報伝送にも使用できる最新のPLC技術を紹介する。

PLCは、有線通信であり、図1に示すように、受信端である一定以上のSNR(Signal to Noise Ratio)を確保することで通信するもので、他の通信と基本的に同じである。

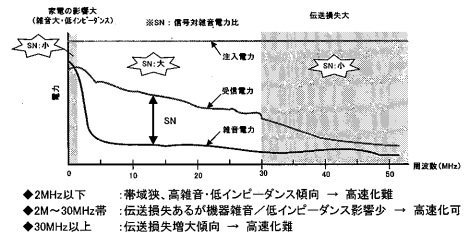


図1 電力線のノイズと信号減衰量

従来は、電波法で、PLCとしては10kHz～450kHzの周波数帯域を使うことしか出来なかったが、2006年10月4日に電波法関連省令が改正され、屋内利用に限定されているものの2MHz～30MHzの周波数帯域を使ったPLCが利用可能となった。525kHz以上に中波帯域（いわゆるAMラジオ）が割当てられているため、この帯域にノイズを出さないようCISPRで規制されているため、500kHz以上の帯域では、450kHz以下の帯域と比較すると格段に伝導雑音が減少するという特徴がある。このため、SNが確保でき、安定した通信ができるため、この帯域を使ったPLCチップやモデムが諸外国で開発され、日本でも使用を求める動きが活発になってきた（逆に、使用する周波数帯域がこの帯域よりも高すぎると信号減衰が大きくなり、SNが確保

できなくなる)。

宅内用の高速 PLC の利用イメージを図 2 に示す。宅内に敷設されている電力線を伝送媒体として、電源コンセントに接続するだけで、電気エネルギーと情報信号の両方を同時に供給できる。この例では、屋外のブロードバンドアクセスラインである光ファイバに接続されている PLC モデムのコンセントを通して、家中に情報信号が配信される。自分の利用したいコンセントに PLC モデムを接続し、モデムで電源と情報信号とを分離することによって情報信号が取り出せる。

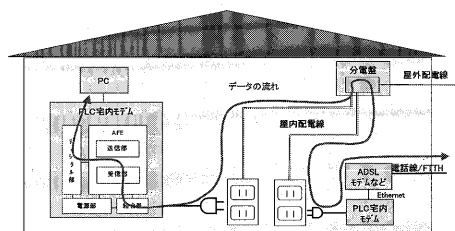


図 2 宅内 PLC の利用イメージ

3. 高速電力線通信の通信方式の概要

高速電力線通信においては、主に OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) と SS (Spread Spectrum) を変調方式として採用している。

OFDM は地上デジタル放送、802.11a などの無線 LAN の通信方式にも適用されている方式であり、図 3 に示すように周波数軸で直交性のあるキャリアを相互に重ねて配置することで、限られた帯域幅でより多くの情報を伝送できるのが特徴である。また OFDM では、各キャリアの変調方式や送出レベルを個別に設定できるのも特徴のひとつである。これは、電力線伝送路の伝

送状態に応じて、各キャリアの多値レベルや一次変調方式そのものを変更することで安定した通信性能を確保することを可能にし、また、高速電力線通信における漏えい電波が他システムに影響を与える場合や、複数の異なる種類のモデム間の共存が必要な場合などは、当該キャリアを不使用とする等の設定を行って問題を回避できる。

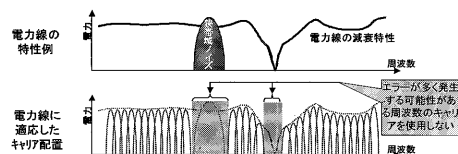


図 3 OFDM の方式の例

同じ OFDM 方式の中でも Wavelet-based OFDM は、周波数軸上のキャリア直交性に加え、時間軸上のシンボルも直交する性質を持つことを特徴としており、長いシンボル長を持つ場合であっても符号間干渉を最小限に抑えることができる。これは、キャリアのサイドローブを低減することができ、特に不使用キャリアの設定を行う必要がある場合には有効である。近年では、Wavelet-based だけでなく、通常の FFT-based の OFDM でもキャリアのサイドローブを低減できるようになってきている。

SS 方式は、無線 LAN (802.11b) や第 3 世代携帯電話で採用される変調方式として知られるが、もともとは軍事用の秘匿通信などの目的で開発されたものである。SS 方式では、図 4 に示すように、一次変調信号を拡散符号にて二次変調を行い、さらに広い帯域へ拡散し、また、復調時には、送信と同じ拡散符号にて復号化を行うことで元の情報信号を得ることができる。送信される信号は、拡散利得 (拡散符号の長さ)

が大きいほど、符号の解釈が困難になると同時に、帯域あたりの電力が小さくなり傍受されにくいことから秘匿性が高い。さらに電力線通信においては、電力線伝送路において加えられた雑音が、復調時には逆に拡散されることになるため、狭帯域の雑音や伝送路ひずみに対して強い方式である。

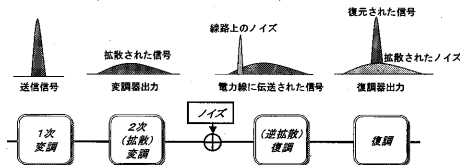


図4 SS方式の例

4. 国内規制緩和関連

4.1 国内規制緩和の状況

日本国内では、2001年からPLCで使用する周波数を2MHz～30MHzに拡大することが検討されてきた。その契機は、2001年3月に取りまとめられた『e-Japan重点計画』に、「PLCで使用する周波数帯域を2MHz～30MHzまでに広げるかどうかについて検討し、2002年度までにその結論を得る」と盛り込まれたことである。これを受けて、2001年6月に、電波産業会(ARIB)の中に『電力線搬送通信設備開発部会』が設置され、ARIBの会員会社約300社のうちの77社が集まって2002年6月まで検討を行った。また総務省は、2002年4月末に『電力線搬送通信設備に関する研究会』を設置し、利害関係者からのヒアリングおよび実環境における実験を実施した。この結果、微弱無線の強度をも超える電波が、PLCモデムを接続した電力線から観測されたことから①現時点で周波数帯域を拡大するのは時期尚早②技術開発のために

実験制度を整備する必要がある③日本の実情を反映できるよう国際規格に積極的に貢献するという3点が答申された。

この時点では、PLCを推進するメーカーなどはADSLなどに対抗する屋外アクセス用として考えていたが、上記答申を受けて、今後は漏えい電界を低減する技術を開発し、国内でPLCを利用できる環境を作るべく、2003年3月に、関西電力、きんでん、住友電工、ネットインデックス(旧称:本多エレクトロニクス)、日立、富士通、松下電工、松下電器産業、三菱電機、ラインコムの10社で高速電力線通信推進協議会(PLC-J)を設立した。まず、実験制度の早期整備を求めて活動を開始し、2004年1月の実景制度整備以降は、フィールドでの実験を重ねて、2004年12月に総務省に対して、屋内に限定し、且つ、一般の人が利用しやすいように型式指定を受けられるような仕組みで、PLCの実用化を図るための研究会の設置を要望した。

その後、2005年1月から2MHz～30MHzの帯域を使っている既存無線利用者(アマチュア無線家、短波放送関係者、電波天文関係者、船舶無線関係者、航空無線関係者)、およびPLC推進者と学識経験者を交えて『高速電力線搬送通信設備に関する研究会』を行い、建物の外壁から10mの地点における漏えい電界が環境雑音と同じかそれ以下になることを基本として、この漏えい電界強度と1対1に対応するコモンモード電流に置き換えて許容値および測定法を策定した。2006年2月からは、情報通信審議会情報通信技術分科会CISPR委員会で更に詳細な技術的条件(帯域外の妨害波電圧や放射妨害波など)が策定され、2006年7

これらの結果を踏まえて、2006年10月4日に、電波法関連省令の一部が改正され、屋内に限定されてはいるものの、日本で2MHz～30MHzを使ったPLCが利用できるようになった。

高速 PLC 設備に関する許容値は、電波法 100 条に定められた高周波利用設備の規定が適用される。電波法 100 条およびその関連省令の法体系を図 5 に示す。

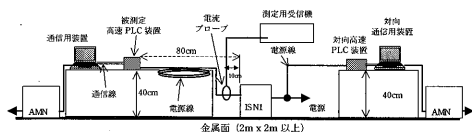


図 6 電源端子妨害波電流の測定（通信状態）

(2) 非通信状態の伝導妨害波電圧

非通信状態では、一般の情報技術装置と同様に図7のように配置し、擬似電源回路網を用いて電源線に生じる雑音端子電圧を測定する方法が適用される。

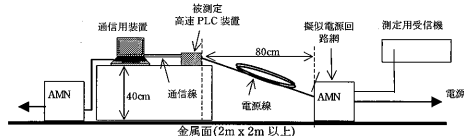


図7 電源端子妨害波電圧の測定(非通信状態)

(3) 放射妨害波電界強度の測定

放射妨害波電界強度の測定も、一般の情報技術装置の放射妨害波測定と同様であり、図8に示す配置にて高速PLC設備から放射される電界強度を測定する。

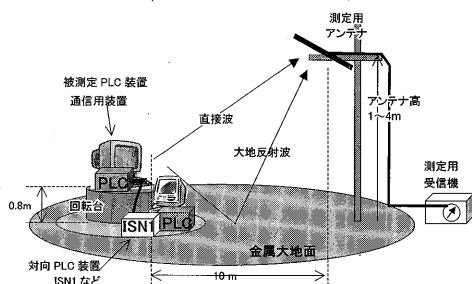


図 8 放射妨害波の測定

5. 三菱電機 の 取 り 組 み

三菱電機は、総合電器メーカーであり、通信機器関連の部門、家電品を製造／販売する部門、電力会社関連の部門など多方面に

わたる事業分野がある。そのため、当社の製品はそれぞれの事業領域で活用されることを想定している。今回は、当社が取り組む市場について例を挙げて説明する。

5.1 当社の製品

三菱電機ではBWシリーズを高速PLCモデムとして製品化している。BWシリーズは、アクセス系PLCと呼ばれるもので、主としてビルや建屋内の通信への利用を考えている。

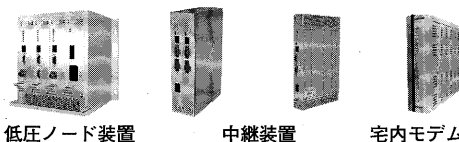


図9 三菱電機の高速PLC製品(BWシリーズ)

表1 高速PLC製品の仕様概要(BWシリーズ)

使用周波数	2～30MHz
キャリア数	約1500キャリア
変調方式	OFDM
物理最大速度	200Mbps
外形寸法 (D×W×H)	低圧ノード装置：234×265×295 中継装置：176×70×300、 176×43×290 宅内モデム：195×45×155

5.2 PLC の市場

PLCは、電源線を使って通信するものであるため、通信線はないが電源線はあるという場所に通信機能を提供する非常に優れたツールである。特に既設のビルや建屋内に通信線を新たに敷設するのは大変な作業となるため、PLCでのネットワーク構築が期待されている。また、宅内でもブロードバンド回線は電話のモジュージャック

まであるいはCATVに接続されたケーブルモデムまでしか来ていないため、PCの設置してある部屋までの延伸には無線LANを使うかEthernetケーブルを敷設する必要があり、屋内配線を利用するPLCへの期待は非常に大きい。

(1) ビル内、建屋内への適用

新たに構築されるビルには、LAN用のEthernetケーブルが敷設しやすいように工事時に配線をしてしまう場合や床をフリーアクセスにして、配線を敷設しやすくするなどの工夫ができるが、既設のビルの場合には、このような対応ができず、構内LANを構築するのに手間がかかる。PLCは既設の電源線を使用するため、構内に新たな線を敷設することなく構内LANを構築することができる。

ビルや建屋内の各フロアにあるPCにPLCモデム子機を接続し、フロアの分電盤付近の中継機または親機を介して外部のブロードバンドネットワーク(FTTHやADSLなど)と接続する構成となる。

三菱電機では、BWシリーズ製品を活用して、上記のビル内や建屋内のネットワークを中心に適用することを考えている。

ビル内においてPLCネットワークを構築する場合の中継機の適用例として、周波数分割中継機のみで構成するケースと周波数分割中継機と時分割中継機の2機種を適用するケースについて説明する。

ビルがホテルのように各フロアに主分電盤が設置され、各部屋に局所分電盤が設置されている場合は、各フロアの主分電盤に周波数分割中継機を設置し、各部屋に子機

を設置する構成が考えられる。ホテルのように1部屋あたりに設置する子機の台数が少ない場合は、局所分電盤に時分割中継機は使用せず、中継機として周波数分割中継機のみを使用する。

一方、ビルを事務所として使用しており、各フロアに主分電盤が設置され、フロアの数箇所に局所分電盤が設置されている場合は、各フロアの主分電盤に周波数分割中継機を設置し、局所分電盤に時分割中継機を設置する構成が考えられる。事務所内では、局所分電盤配下に多くの子機が設置され、通信性能が劣化することが想定されるため、局所分電盤に時分割中継機を設置する。

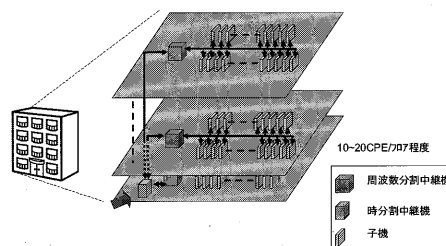


図10 適用事例(ホテル型モデル)

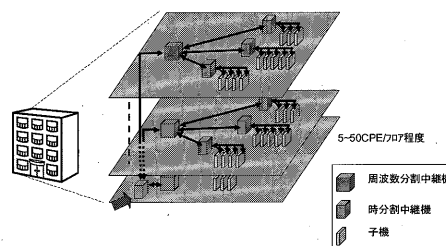


図11 適用事例(ビル型モデル)

(2) ホームネットワーク/宅内延伸への適用例

近年のブロードバンドの発展により、日本国内では全世帯数の約60%(約2500万世帯)がブロードバンド回線を利用している(出典:総務省『情報通信白書』)。しかしながら、電話のジャックやCATVのケー

ブルモデムのところまではブロードバンドになっているが、そこから先のPCまでの間の接続には、無線LANを用いるかEthernetケーブルを敷設する必要があり、無線LANの場合は、せつがく購入しても電話ジャックとPCとの間にいくつかの壁をはさんでいるため使えない場合があったり、また、Ethernetケーブルの場合は、電話ジャックとPCとの間が、例えば直線距離では5m～7m程度しか離れてないにもかかわらず、ケーブルをきれいに配線しようとするとその数倍の長さの線を敷設する必要があるなど、宅内のPCまでのネットワーク化が難しいのが実態である。屋内の電力線を利用したPLCは、電話ジャックやPCの直近にある電源コンセントを利用して、非常に手軽に両者を接続することができる。

このように、無線LANやEthernetなどの代替や補完として利用するあるいは無線LAN等と組み合わせた形でホームネットワークを構成することで、インターネットTV用のSTB(セットトップボックス)などを各部屋に配置することが可能となり、さらにPLCモデムを家電品やホームセキュリティ製品などに組み込んで、全て機器を接続したホームネットワークの構築が可能となる。

6. 船舶への適用

PLCの船舶への適用に向け、船舶内でPLCを利用した場合の影響につき実験を実施した。以下にその内容につき説明する。

6.1 実験の概要

- ① 実験目的：信号発生器(SG)を使って、

PLCが使用する帯域の信号と同様の信号を流して、船内の電源線からの漏えい電界、電源線の減衰特性、伝導雑音などの基本特性を調査し、船舶への適用の可能性を調査する。

- ② 実施日：2006年2月

- ③ 適用船：汐路丸(東京海洋大所有)

総トン数：425 t

全長：49.9 m

航海速力：14.1ノット

- ④ 実験参加者：東京海洋大、武蔵工大、
潟(株)オー・ケー・イー・サービス、三菱電機

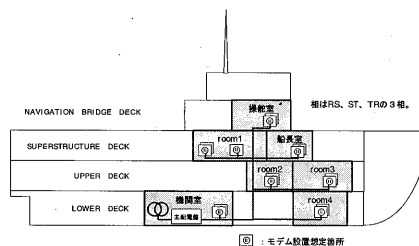


図12 船内構成イメージ

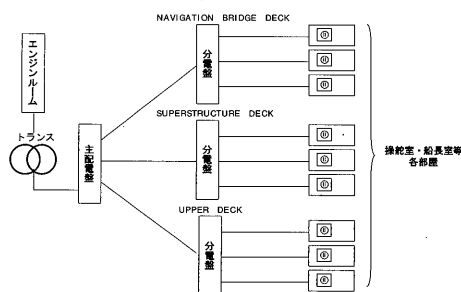


図13 船内系統イメージ

6.2 減衰特性

(1) 測定方法

減衰特性の測定イメージを図14に示す。

測定は、信号発生器により信号を注入し、各部屋のコンセントで、デジタルオシロにより信号を受信し、波形解析を行ない、減

衰特性を算出した。

本測定では、電源が商用電源、船内電源の2ケースについて行なった。また、信号注入点は主配電盤の二次側および船外のネットワークと接続するための装置を置くことが想定される場所付近のコンセントとした。

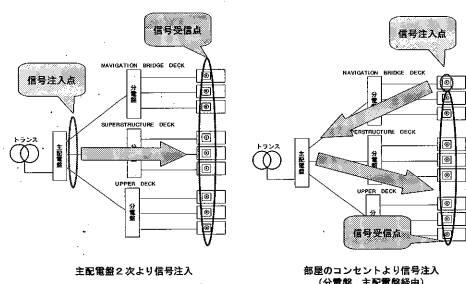


図14 減衰特性測定方法

(2) 測定結果：減衰特性一例

減衰特性の一例を図15に示す。図15は複数の測定結果を重ね合わせたものである。

測定結果より受信コンセントによりばらつきがあることが確認できた。減衰量の大きい箇所においては、減衰した信号を増幅する機能を持った装置を分電盤に設置する等の対策が必要となる。

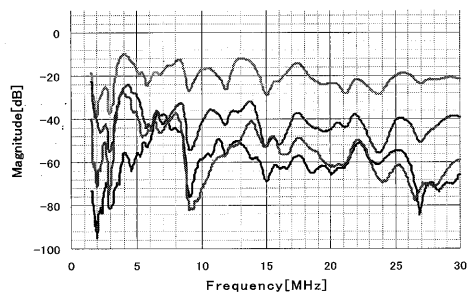
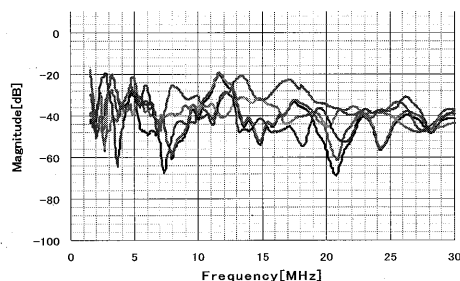


図15 減衰特性測定結果の一例

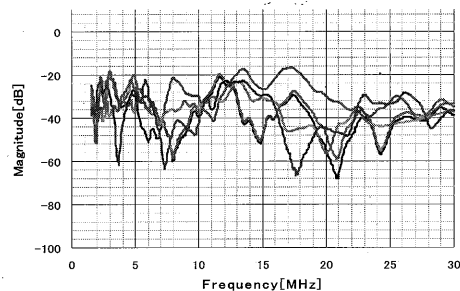
(3) 測定結果：陸上電源と船内電源の比較 減衰特性の測定結果を陸上電源と船内電

源に分けて重ね合わせた結果を図16に示す。

結果より陸上電源(a)と船内電源(b)とでは、減衰特性に大きな差がないことが確認できた。



(a)



(b)

図16 陸上電源と船内電源の比較

6.3 雑音特性

(1) 測定方法

結合器を介して、スペクトラムアナライザにより、主配電盤、部屋のコンセントの雑音測定を行った。

(2) 測定結果（凡例：赤；船内電源、青；陸上電源）

雑音特性の測定結果の一例を以下に示す。

陸上電源、船内電源共、2MHz～30MHzにおいては、大きなノイズは見受けられないことが確認できた。

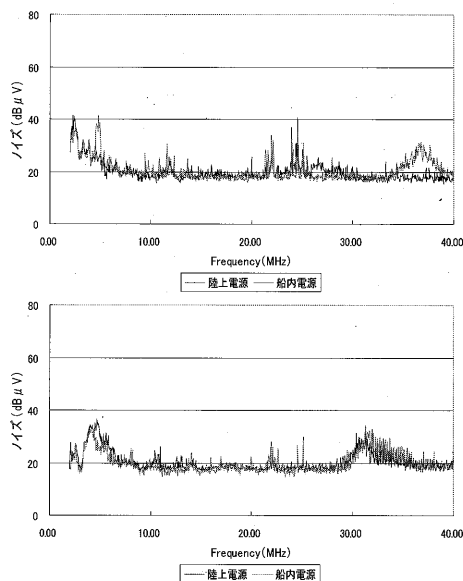


図 17 雑音特性測定結果の一例

6.4 漏えい電界強度

(1) 測定方法

信号発生器により、コンセント・主配電盤に擬似信号を注入し、各観測点での漏えい電界強度をスペクトラムアナライザにより測定を行った。

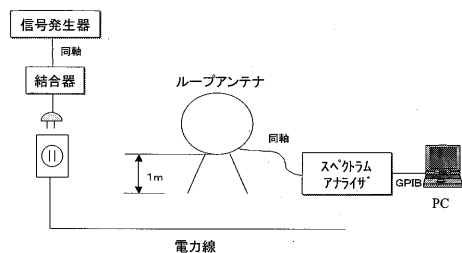


図 18 漏えい電界強度測定方法

(2) 測定結果 (凡例: 赤; 信号注入時、青; 信号注入なし)

信号を注入したコンセントがある部屋では、信号の漏えいが観測されるが、隣の部屋等別の部屋では、漏えい電界はほとんど観測されないことが確認できた。

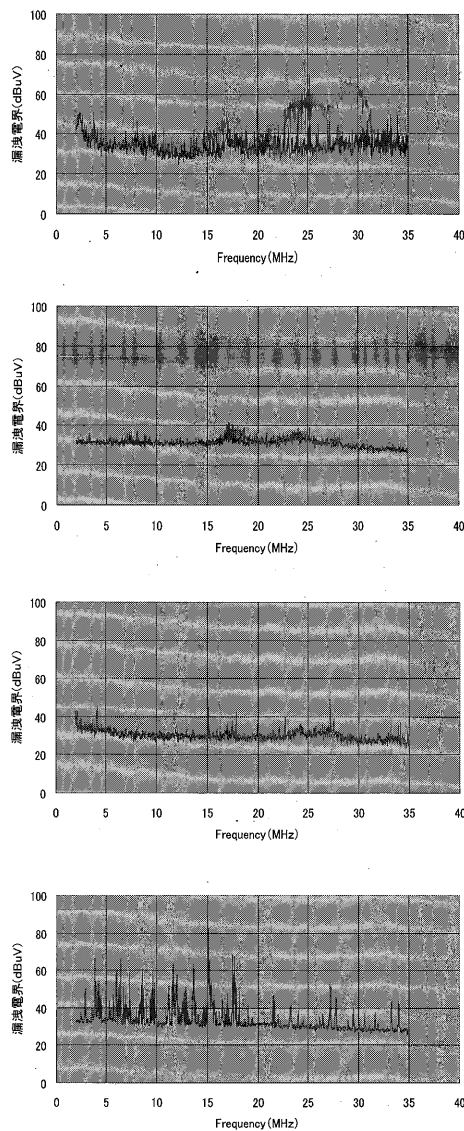


図 19 漏えい電界強度測定結果の一例

7. まとめ

高速 PLC は、国内では、2006 年 10 月 4 日より、型式指定を受けたモデムについては「屋内のみかつ単相 100V/200V」、個別許可を受けたモデムについては「屋内のみ」という条件で商用利用可能(実証実験制度

を利用した実験も可能)となった。

三菱電機では、B to Bのモデルでのビジネス展開を考えており、構内ネットワーク構築の1つのインフラとしてPLCモデム等の機器およびPLCを利用したネットワークシステムを提供する予定である。

また、高速PLCを船舶に適用する実験を行った結果、使用した実習船では、漏えいは観測されず、通信性能が一定以上確保できる見込みが得られた。しかしながら、国内では、船舶は屋内とは認められないため、商用化に制限があるが、今後はPLCを適用する船舶の定義、適用範囲の検討、船舶無線へのPLCの影響評価、外国船籍の船に適用した場合の各国法規の適用可否などについての検討が必要と考えている。

「種子島宇宙センターおよび種子島灯台見学特別研究会」 に参加して

日本光機工業株式会社 顧問 田中 仙治

1. はじめに

18年12月、電波航法研究会事務局から「種子島宇宙センターおよび種子島灯台見学特別研究会」の案内をいただいた。昨年の特別研究会が電波航法研究会全体の行事スケジュールの関係で中止になってしまったので、特別研究会としては、一昨年の「八丈島水路観測所および八丈島 GPS 局における特別研究会」以来二年振である。種子島宇宙センターは、わが国の宇宙開発のニュースのたびに耳目にする名称であり、常々、一度見学してみたいと思っていたので即座に参加の申し込みを行なった。

子供の頃に映画館のニュースで「こちらはアメリカのケープカナベラル空軍基地です。このたび宇宙に向かって大型ロケットが発射されました」などという映像を目にして興奮したり、ラジオで「わが国で最初のロケットの発射実験が行われました」というニュースを聞いて日米の規模の差を想像したりしたことが思い出された。

12月18日、N-II A ロケットによって技術試験衛星Ⅷ「きく8号 (ETS-Ⅷ)」が打ち上げられ、成功したというニュースがテレビで放映された。「きく8号」によって測位業務の実験も行われるともきいている。その衛星を打ち上げて間もない本家本元の現場を訪問出来るので、最高のタイミングである。

計画していただいた研究会ならびにお世話いただく事務局の皆さんに感謝しつつ期待に夢を膨らませて年末年始の過ぎるのを待った。

2. 種子島へ

特別研究会は、

1月12日、東京発、

11時 種子島着

13時－16時

種子島宇宙センター見学

16時－17時

種子島灯台見学（種子島泊）

1月13日 帰京の行程である。

正月過ぎから東京地方は非常に寒く、南国種子島では、コートやマフラーが邪魔になるのではないかと心配していた。インターネットで種子島地方の気候を調べてみると1月12日前後は、全国的に寒波に見舞われ、鹿児島地方を含めて最低気温3度、最高気温11度とのことであった。安心したというより、南国の温暖な気候への期待が裏切られた失望のほうが大きく、ちょっと軽めの防寒対策をとることにした。

12日朝5時半起床、6時過ぎの電車で羽田へ向かい出発予定時刻の40分前に空港に到着。航空便に対するいつものながらの感想であるが、鉄道までとはいわないまでももう少し上手い時間管理の方法が無いもの

かと思う。

午前8時5分、早朝のせいか、或いは、帰省客の移動が終わったばかりで通常の混雑との端境期なのか、比較的落ち着いた雰囲気羽田空港を後にして中継地、鹿児島へ向かった。機内は、窓際の席にも空席があり、定員の1割にも達していないようだ。満席で狭いシートに押し込められた年末年始の乗客に同情を禁じえなかった。また、航空会社の担当者が航空機の振り分けに苦労していることにも思いをめぐらした。

石油資源の枯渇、地球温暖化などが叫ばれている今日、東京から空に等しい大型の航空機が大量の燃料を使いながら、福岡、熊本、宮崎、沖縄へと平行して今も飛んでいる。しかも他社便がそれに加わっている。確かに直行便は便利であるけれど、直行便が無ければ無いで今回のように乗り継ぎ便でも何の抵抗も無い。「乗客のニーズに最大限にこたえる」、「同一料金の原則」、「最大混雑時に備える」、「離発着便数を確保する」など需要と供給の両者の都合が複雑に絡んで航空路、航空運賃、便数、運行スケジュールと機種などが設定されているのであろう。省エネ、省資源を目的とすれば、わがままを抑え、効率化、規格化、既得権などについて見直しと工夫を加えればまだまだ改善の余地がありそうだ。言い換えれば、それだけ国全体としてみれば危機管理上の対応策をリザーブしているということか。

離陸直後にエアポケットに入ったのか大きく機体がゆれた。日本列島を覆う寒波による揺れだとすると鹿児島まで揺れ続けるのかと不安になったが、すぐに機内放送で地域的なもので以後のフライトには影響

ないと知らされ安堵し、のんびり睡眠の不足を補った。

定刻10時05分に鹿児島空港に着陸し、空港ビル内を通過して、そのまま種子島便に乗り換えである。案内にしたがってバスに乗り搭乗機へ。バスを降りて機体を前にして初めて見る航空機に感動である。六枚ばねのプロペラ機である。ボンバルディア社製DH4、定員74名、飛行速度670km、「低騒音でジェット機並みのスピード」がうりものである。定刻10時20分離陸。ここでも3割そこそこの乗客である。

鹿児島錦江湾を右手にみて大隈半島を縦断し、種子島までわずか25分の飛行である。新種子島空港は、昨年開港したばかりの真新しい施設である。空港ビル内の待合スペースで海路で来島するグループを待つことになっている。飛行機便でついた10名が夫々相互に挨拶を交わし、残る時間約20分を待つことになった。空港ビル内には、歩き回るほどのスペースは見当たらない。観光案内所と空港売店で島の観光名所や特産物をたずねて時間を過ごす。売店には、砂糖きび、タンカン、紫芋など亜熱帯の食品が目につき目的地に到着したことを実感した。チャーターしたバスでピックアップされた海路組みが到着し全員が空港ビル内



新種子島空港

に集合して、いよいよ特別研究会のスタートである。

3. 種子島宇宙センター見学

参加者全員がそろい、事務局から簡単な行程説明をうけて空港を出発し、途中で昼食をとって種子島宇宙センターへ向かうこととなった。種子島は、南北 57 km、東西 4 km - 12 km の南北に長い島で、その中央に新種子島空港が、南東端に種子島宇宙センターがある。島内の勢力は、島の北半分を西之表市が占め、南半分を中種子町と南種子町との二町で半々に分け合っている。空港から南下して宇宙センターに着くと、入り口に宇宙科学技術館がある。センターでは、見学者用に所要時間 1 時間 15 分の見学バスツアーを一日三回ガイド付で準備している。この技術館をツアーの受付とバスの発着点にして、見学者の時間調整の便宜を図っている。1 時に到着したので、すぐに受付を済ませ、30 分の待ち時間のうちに館内を見学して宇宙に対する予備知識を仕入れてからツアーに出発した。種子島宇宙センター全体および宇宙科学技術館の見学は、入場は無料で、見学ツアーが予約制であることと打ち上げ準備を行っている特別作業場を除いて構内の移動も自由である。



宇宙科学技術館

ツアーバスは、電波航法研究会のメンバーの貸切である。ガイドは、専門職とはいいながら、口調も初々しく説明を聞きながら思わずこちらが頷いてしまうような、地元出身の若くかわいいお嬢さんである。

見学中の説明、施設紹介のパンフレット、ホームページによる記述などからセンターの概要をまとめて紹介しよう。

(1) センター全体の概要

種子島宇宙センターは、種子島東南端の海岸線に面し、南北約 5 km、東西約 1.5 km、総面積約 970 万平方メートルにおよぶ日本最大の宇宙開発施設である。世界一美しいといわれているロケット打ち上げ基地だそうである。確かに見学後の感想では、センター全体から施設各部まで、何処もすばらしい眺望と環境に恵まれた他所では見られない施設だろうと納得した。

このセンターでは、ロケットの組み立てから打ち上げまで、そして衛星の最終チェックからロケットへの搭載までを行っており、我が国のロケットや人工衛星の打ち上げを担当している。施設内には、小型ロケットの打ち上げに使用した「竹崎射場」（筆者註：射場とは発射場の専門用語）、中型ロケット打ち上げを行う「大崎射場」および 21 世紀の日本の主力ロケットである H-II A ロケット打ち上げを中心とする「吉信射場」に代表される三射場のほか、ロケット組立て棟、液体エンジン試験棟、衛星組立て棟、総合同令棟、宇宙科学技術館などがあり、更に、このエリアの北方には「増田宇宙通信所」「野木レーダ局」が、西方に「宇宙ヶ丘レーダステーション」「光学観測所」などが整備されている。

こうした施設・設備を使って、人工衛星

打ち上げまでの一連の作業、打ち上げの秒読み作業、発射後の追尾等の作業などを行い、実用衛星打ち上げの中心的役割を果たしている。

(2) センターの歴史

1966（昭和41）年、科学技術庁宇宙開発推進本部の「種子島宇宙センター」として設置が決定され、初のロケット打ち上げが行われたのは1968（昭和43）年9月17日である。

1969（昭和44）年10月、「宇宙開発事業団（NASDA）」発足に伴い科学技術庁宇宙開発推進本部が発展的解消を遂げ、同時に種子島宇宙センターもNASDAの施設となった。

1977（昭和52）年2月にN-I 3号機によって打ち上げられたETS-II「きく2号」は日本初の静止衛星となり、日本は米ソに次いで世界3番目の静止衛星打ち上げ国となった。

1994（平成6）年2月4日、純国産大型液体燃料ロケットH-II初号機が吉信射場から打ち上げられた。この吉信射場は、大型ロケット打ち上げにあたって、安全距離確保のために吉信崎先端に新たに整備された射場であり、以後、1999（平成11）年11月15日まで、7機のH-IIロケットが打ち上げられた。

2001（平成13）年8月29日、H-IIの後継であるH-II Aロケット初号機の打ち上げに成功した。以来現在までこの射場が使用されている。

2003（平成15）年10月、宇宙開発事業団・宇宙科学研究所・航空宇宙技術研究所の3機関統合による独立行政法人「宇宙航空研究開発機構（JAXA）」発足に伴い、種子島

宇宙センターはJAXA宇宙基幹システム本部の所属となっている。

H-II A増強型として想定されているH-II B発射用として吉信第二射場が整備されている。この射場は、発射するロケットおよび打ち上げる衛星のすべてが建造物内で組み立てられ、点検が終わった後に台車によって発射台まで搬送されてロケット燃料を充填して発射されるので、ここに整備されるのは、発射台接合部と避雷針のみの施設となっている。

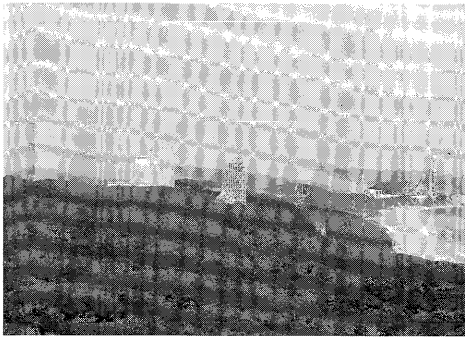
打ち上げ実施当日は、宇宙センター内はもとより射点（筆者註：射点とは発射点の専門用語）から半径3km以内は警戒区域とされ関係者以外立入禁止となるが、警戒区域外からの見学は自由である。JAXAでは、一般向けの打ち上げ見学所として、3箇所（宇宙ヶ丘公園・前ノ峯グランド・長谷展望公園）を紹介して、これらの公式見学ポイントには、カウントダウン音声を中継し見学者に便宜を図っている。

(3) ロケットの丘展望台

「ロケットの丘展望台」から大型ロケット発射場である吉信射場の施設類を遠望する。左側の白い大きな建物が大型ロケット組立棟（VAB：Vehicle Assembly Building）、その右手前にあるのは、N-IからN-II、H-I、J-Iロケットまでの打ち上げに使用された大崎射場。右奥、鉄塔（避雷針）が建つ場所が、かつてH-IIが打ち上げられ、現在はH-II Aが打ち上げられる吉信射場（写真右が第一射場、左が第二射場）。

(4) 大型ロケット組立棟

H-II A型ロケットを2機同時に整備することが出来、実際に2005年11月から



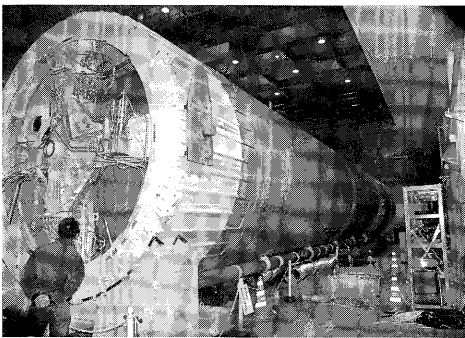
発射場遠景

2006年1月にかけて8号機と9号機の2機を平行整備したそうである。前面の2枚の引き戸は、1枚が高さ67.5 m、幅27.0 m、厚さ2.5 m、重量400トンもある巨大なもの(川崎重工業製)で「世界最大の引き戸」として2005年5月19日にギネスブックにも認定されているとの説明であった。

今回は、現在内部で次期打ち上げの12号機の組み立て作業中のため見学することが出来なかった

(5) 大崎第一ロケット組立て棟

ここには、H-IIロケット7号機が保管されている。これは、先行発射された8号機が失敗したことで打ち上げがキャンセルされたものである。現在の主流のロケットがH-II Aであるとはいいいながら、ほとんど同型の実機そのものを見学でき、今回



ロケット

の特別研究会の目玉とされていた。

展示されているのは、一段ロケットおよび二段ロケットで、両ロケットが並べておかれている。外径4 m、長さは、一段ロケットが30 m、二段ロケットが8 mであり、打上げ時には二段ロケットの先端部に衛星フェアリング(衛星収納部)12 mが加わって全長で50 mになるそうである。実際の打上げ時には、一段ロケットの脇に固体燃料ブースターを2機取り付け、全重量が衛星を除いて260 tとなり、2トン級(1トン級であれば2個)の静止衛星を打上げる能力を持つそうである。

ちなみに、H-II Aロケットの場合には、本体はほとんど同じで、側面に追加されるブースターがパワーアップされたことと打上げる衛星の重量によってそのブースター数を2-4機の間で選択を可能にしたことが特徴で、約6トンの静止衛星まで打上げが可能になっているとの説明であった。このブースター数の融通性を含めて打上げ経費の効率化が図られ、打上げ衛星の重量ばかりでなく経費面でも世界的にも遜色なく、競争力の強化が図られたそうである。

4. 種子島灯台

種子島宇宙センターの見学が終わった後、センター敷地内にある種子島灯台を見学した。センターの見学ツアーのバスで灯台のある丘のふもとを通過したので、白い本塔の遠景はすでに眺めていた。灯台のアプローチ用の道路が急峻なため、手前のセンター施設駐車場でバスを降りて灯台へ。「これは急な坂だ。40度ぐらいあるんじゃないか」といわせるほどの坂を4~50 m上って灯台構内に入った。灯台本塔および前面

の嘗ての居住施設用敷地を含めて、全体が良く整備されている。研究会向けの説明のためにわざわざ鹿児島から参加していただいた鹿児島航行援助センターの野涯所長からいろいろ説明を伺った。

標識の種別としては、「沿岸灯台」であって、「公称光達距離」が21.5マイル(約40km)、「灯質」は、白色20秒2閃光とのことである。灯ろう(頂部灯室)の回転レンズの円周が三分割されて、二面がフレネルレンズで一面が保守用の窓付き鉄板で閉鎖されている。このレンズ全体を20秒周期で回転させることによって20秒2閃の光が海上に発射されているのである。この灯台の管理運用は、鹿児島海上保安部航行援助センターが担当し、鹿児島から3ヶ月に2回保守点検の巡回を行っているとのこと。また、無線回線による遠隔監視制御によって鹿児島航行援助センターで灯台全体の運用を行っているとの説明であった。



灯台

近い将来、この灯台も保守作業のアウトソーシングによって巡回保守が海上保安庁から民間に変わる予定であり、海上保安庁の職員が訪問する回数も減るとともに目の届く範囲も狭まるので灯台全体の管理責任者としては、業務の進め方に悩んでいるとのことであった。

むすび

見学会の翌日、事務局の計らいで前日のバスによる島内半日ツアーを行っていただいた。

種子島といえば嘗ては鉄砲伝来の島、現在は宇宙開発の島といわれている。しかし、島内では火縄銃も宇宙センターも同等の扱いで大きな観光資源である。

バスガイドの説明でも大半が種子島銃と宇宙センターの話であり、中でもポルトガル船の渡来から種子島銃完成までの物語を鍛冶職人の苦悩とその娘の悲恋物語を織り交ぜて語るガイドの講談調の口調は、数百年後の現在でもその歴史に寄せる地元の人々の心情を窺い知ることが出来るものであった。

島内観光を済ませ、全員が無事帰京することが出来た。

最後に、この特別研究会を企画、実行していただいた研究会事務局および地元のお世話をいただいた第十管区海上保安本部ならびに鹿児島航行援助センターの皆様にご心よりお礼申し上げます。

電波航法研究会 平成 17 年度事業報告

電波航法研究会事務局

Record of Work Carried Out by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation During Fiscal Year 2005

Secretariat Office of the JACRAN

総 会

平成 17 年度総会は、平成 17 年 5 月 17 日 15 時から海上保安庁築地庁舎 7F 大会議室で開催された。会員数 98 名のうち、総会出席者 30 名、委任状提出者 35 名、計 65 名で当会規約第 10 条第 4 項により本総会は成立した。各議題の審議結果は次のとおりであった。

- 1 平成 16 年度事業報告が事務局により行われた。
- 2 平成 16 年度会計報告が事務局により行われ、会計監査中村勝英氏の監査報告があり、承認された。
- 3 平成 17 年度会長、副会長選出の前に「第 1 回幹事会で今津会長が辞意を表明された」旨の説明が事務局からあり、会長の互選が行われた。

立候補者、推薦者ともいなかった為、事務局から林尚吾氏を提案し、満場一致で了承された。また、副会長には、長岡栄氏及び田中仙治氏が再任され、2 名体制となった。

なお、各幹事の委嘱については事務局案のとおり了承された。

- 4 平成 17 年度事業計画案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認さ

れた。

- 5 平成 17 年度予算案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。

研究会

- 1 第 1 回研究会は、平成 17 年 5 月 17 日、海上保安庁築地庁舎大会議室で総会に引き続き開催され、海上保安庁交通部整備課今井忠義課長から「電波航法の現状と展望」、電気通信大学早川正士教授から「地震に伴う電磁気現象のいろいろ」、水洋会中村勝英事務局長から「レーダースプリアスの規制(Ⅱ)」と題する講演が行われた。

出席者は 64 名であった。

- 2 第 2 回研究会は、平成 17 年 10 月 3 日、海上保安庁築地庁舎大会議室において開催され、総務省情報通信政策研究所南圭次主任研究官から「ユビキタスネット時代における宇宙通信の在り方」、新衛星ビジネス鳥山潔上席常務から「準天頂衛星計画の概要」と題する講演があり、国土交通省総合政策局技術安全課植田亨専門官から「高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発」に関する発表があった。

出席者は 52 名であった。

3 第 3 回研究会は、平成 18 年 4 月 7 日、海上保安庁築地庁舎大会議室において開催され、海上保安庁ディファレンシャル GPS センター浜岡洋介主任解析官から「DGNSS を取り巻く世界動向」、同庁情報通信企画課小池貞利専門官から「ロングレンジ・トラッキング等の検討状況等」、国土交通省航空局航空衛星室真鍋英記航空管制技術調査官から「MSAS の整備状況」についての説明があった。

出席者は 45 名であった。

特別研究会（見学会）

特別研究会は、都合により開催されなかった。

幹事会

幹事会は、平成 17 年 4 月 20 日、5 月 17 日、10 月 3 日に開催され、事業計画、講演テーマ、役員交代、会誌発行等について審議が行われた。

会誌等発行

会誌「電波航法」第 46 号は、平成 18 年 5 月に刊行された。

ホームページで、研究会の案内及び速報を実施した。

会員数

平成 18 年 3 月 31 日現在

正会員 27 名 53 口

個人会員 15 名

（うち年会員 10 口、終身会員 5 口）

推薦会員 16 名

特別会員 37 名

計 95 名

会員の移動

推薦会員森田清氏（第 2 代会長、東京工業大学名誉教授）は、平成 17 年 12 月 14 日に他界された。

正会員セナー(株)と正会員(株)ランテスは、ほか 1 社と合併し「セナーアンドバーンズ(株)」となった。

特別会員電子航法研究所・理事長付の職は組織改変により廃止された。

電波航法研究会 平成 18 年度事業報告

電波航法研究会事務局

Record of Work Carried Out by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation During Fiscal Year 2006

Secretariat Office of the JACRAN

総 会

平成 18 年度総会は、平成 18 年 6 月 26 日 15 時から海上保安庁築地庁舎 7F 大会議室で開催された。会員数 95 名のうち、総会出席者 32 名、委任状提出者 23 名、計 55 名で当会規約第 10 条第 4 項により本総会は成立した。各議題の審議結果は次のとおりであった。

- 1 平成 17 年度事業報告が事務局により行われた。
- 2 平成 17 年度会計報告に関して収入の項での会費徴収の不便のお詫びを含めた報告が事務局により行われ、会計監査中村勝英氏の監査報告があり、承認された。
- 3 平成 18 年度会長選出に関して立候補者がいなかったが、水洋会中村氏からの推薦で林会長の留任が満場一致で了承された。副会長については立候補者、推薦者がいなかったため、事務局及び会長からの推薦で、長岡栄氏の留任と田中氏後任の新田太久三氏の両名の任命が了承された。
なお、各幹事の委嘱については事務局案のとおり了承された。
- 4 平成 18 年度事業計画案について事務

局から説明が行われ、原案どおり承認された。

- 5 平成 18 年度予算案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。

研究会

- 1 第 1 回研究会は、平成 18 年 6 月 26 日、海上保安庁築地庁舎大会議室で総会に引き続き開催され、海上保安庁交通部整備課今井忠義課長から「電波航法の将来展望」、電子航法研究所研究規格統括白川昌之氏から「電波航法研究所における研究について」、韓国海洋大学校 Prof. Dr. Seung-Gi, GUG (鞠承淇教授) から「韓国の電波航法に関する現状と将来計画」と題する講演が行われた。
出席者は 58 名であった。
- 2 第 2 回研究会は、平成 18 年 9 月 14 日、海事センタービル 2 F 会議室において開催され、東京海洋大学海事システム工学科講師庄司り氏から「海洋ブロードバンドを用いた船舶の運航管理」、電子航法研究所通信・航法・監視領域伊藤憲氏から「高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発 (その 2)」、光電製作所マリノ事業部設計 1 部前田久昭氏、

同設計 1 部渋谷泰功氏から「高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発」と題する講演が行われた。

出席者は 40 名であった。

- 3 第 3 回研究会は、平成 18 年 11 月 29 日、海上保安庁築地庁舎大会議室において開催され、武蔵工業大学電子通信工学科徳田 正 満 教 授 から「PLC (Power Line Communication) の概要」、三菱電機株式会社新事業開拓プロジェクト森田淳士氏から「高速 PLC の概要と当社の取り組み」、東京電機大学情報通信工学科小林 岳 彦 教 授 から「UWB (Ultra Wide Band) 技術の概要」と題する講演が行われた。

出席者は 56 名であった。

特別研究会（見学会）

平成 19 年 1 月 12 日から 13 日に種子島において開催され、種子島宇宙センター及び種子島灯台を見学し、概要説明を受けた。

参加者は 13 名であった。

幹事会

幹事会は、平成 18 年 4 月 24 日、6 月 26 日、9 月 14 日、11 月 29 日に開催され、事業計画、講演テーマ、役員交代、会誌発行等について審議が行われた。

会誌等発行

会誌「電波航法」第 47・48 合併号を発行した。

ホームページで、研究会の案内及び速報を実施した。

会員数

平成 19 年 3 月 31 日現在

正会員 29 名 55 口

個人会員 14 名

(うち年会員 9 口、終身会員 5 口)

推薦会員 16 名

特別会員 37 名

計 96 名

会員の異動

入 会

正会員 株式会社オー・ケー・イーサー
ビス

正会員 日本光機株式会社

特別会員 東京海洋大学海洋科学部
海洋生産学科 宮本 佳則准教授

退 会

推薦会員 片野 忠雄氏

推薦会員 西 周次氏

——電波航法——

——ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW——

平成 19 年 6 月 12 日

印 刷 2006

平成 19 年 6 月 15 日

発 行 No. 47・48

編集・発行 電 波 航 法 研 究 会

Japanese Committee for Radio Aids to Navigation

印 刷 東京都江東区富岡 1-26-10

カクチョウ印刷株式会社

**Carrying dreams,
Carrying the future**

子供たちの未来が輝かしいものであって欲しい。そのために私たちは運び続けます。
ヒトやモノを運ぶことが、夢を運ぶことにつながると信じて。船だからこそできること。
商船三井だからこそ、できることがあります。 www.mol.co.jp

Full Speed Ahead

創業大正8年

海・空の安全をめざして 88年

製 品

航路標識関連機器

飛行場関連機器

自然エネルギー発電装置

日本光機工業株式会社

本 社 〒212-0053 川崎市幸区下平間290番地

TEL 044-522-634(代)

FAX 044-555-7166

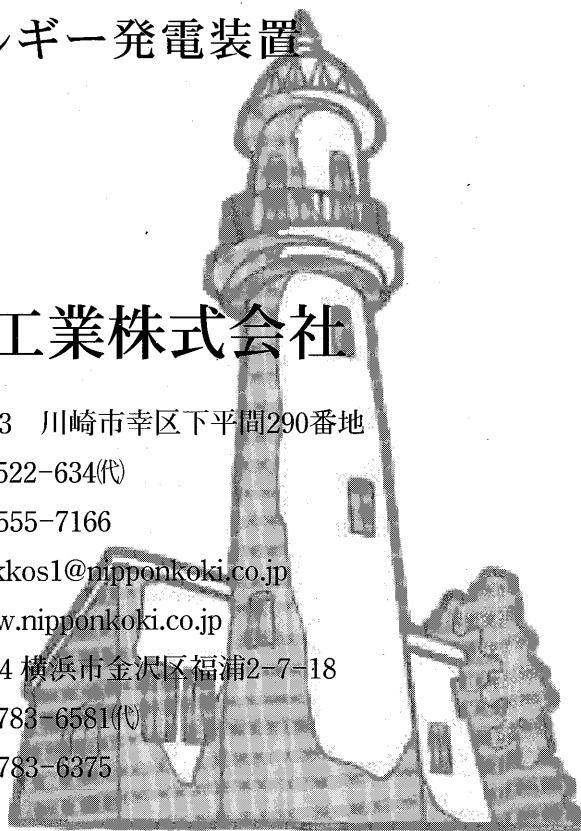
E-mail : nikkos1@nipponkoki.co.jp

<http://www.nipponkoki.co.jp>

横浜工場 〒236-0004 横浜市金沢区福浦2-7-18

TEL 045-783-6581(代)

FAX 045-783-6375



JRC

Since 1915

快適な航海を実現するもの、 それは安心と信頼です。

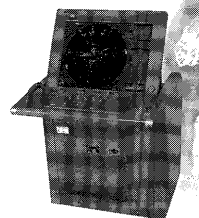
世界の海、世界の船で圧倒的な信頼を得ているJRCの船用電子機器。
永年の経験と先進技術の融合が、安全で快適な航海をお約束します。

安全なナビゲーションをサポートするARPA・レーダー。

最適なルートの選択と快適な航海を可能にする電子海図情報表示装置。

陸上とのシームレスな環境を実現する衛星通信。洋上における人命の安全をアシストする無線通信。

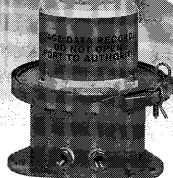
いずれも、海の安全を支えるJRCの精鋭です。



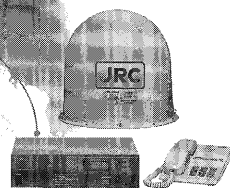
JMA-9900シリーズ
ARPA・レーダー



JMA-901/701シリーズ
電子海図情報表示装置 (ECDIS)



JCY-1850
簡易型航海データ記録装置



JUE-410F
インマルサット FLEET F77
船舶地球局

※JRCの遠隔故障診断システムに対応しています。(オプション)
※当社商品は自社開発品であり、より良い品質とサービスをお届けします。

JRC 日本無線株式會社

<http://www.jrc.co.jp/>

官庁営業グループ 〒160-8328 東京都新宿区西新宿6-10-1 日土地西新宿ビル
電話 (03) 3348-6171 (ダイヤルイン) ファックス (03) 3348-3804


inmarsat

平成十九年六月十二日印刷
平成十九年六月十五日発行

電
波
航
法

電波航法研究会
発行