

南極昭和基地における IoT 活用に向けた 920 MHz 帯小電力通信試験

岡田雅樹^{1*}・佐々木貴美²・加藤拓也³・経沢正邦³・
古川浩史³・大谷朋広³・成末義哲⁴920 MHz-band Low Power Communication Test
for IoT Utilization at Syowa Station, AntarcticaMasaki Okada^{1*}, Takami Sasaki², Takuya Kato³, Masakuni Tsunazawa³,
Hiroshi Furukawa³, Tomohiro Otani³, Yoshiaki Narusue⁴

(2021 年 8 月 4 日受付；2021 年 10 月 25 日受理)

Abstract: LoRa communication protocol using 920 MHz-band has been opened to the public for Internet of Things (IoT) application and a wide variety of telemeter usage since 2017 in Japan. It is expected to be used for collection of scientific observations and monitoring data at Syowa Station. In JARE61, we have investigated the radio environment of the 920 MHz-band, and its possible impact on the ongoing scientific observations in Syowa Station. A member of the wintering team carries a handy transmitter in the nearby area of Syowa Station, East-ongul Island. The transmitter sends GPS location and time data to the receiver (LoRa gateway) located at the roof handrail of the observation building. Six surveys have been conducted, and we confirmed the reachability of the radio signal in and outside of the Syowa Station. The possibilities of the 920 MHz-band application have been suggested to use monitoring station infrastructure and scientific observations.

Keywords: Radio, Syowa Station, Antarctica, IoT, LoRa, JARE61

要旨: 2017 年より国内での利用が始まった 920 MHz 帯小電力無線システム用の電波を活用し、昭和基地における観測機器のデータ収集を始めとした基地インフラの監視を実現することを目的として、第 61 次南極地域観測隊において東オングル島及びその周辺地域における 920 MHz 帯電波の到達状況と既存の基地観測への影響を調査した。調査においては LoRa マルチホップが可能な通信機器を製作し、隊員が携帯する送信装置から発信される GPS の位置・時刻情報を、昭和基地基本観測棟の 3 階階段手摺に設置した LoRa ゲートウェイで受信することで、各地における受信信号強度や信号対雑音比などのデータを収集した。越冬期間中 6 回に及ぶ調査の結果、920 MHz 帯電波の特性から小電力にも関わらず広い範囲で電波

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

² 第 61 次南極地域観測隊. 61th Japanese Antarctic Research Expedition.

³ 株式会社 KDDI 総合研究所. KDDI Research Inc., 2-1-15 Ohara, Fujimino-shi, Saitama 356-8502.

⁴ 東京大学大学院工学系研究科. School of Engineering, Tokyo University, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656.

* Corresponding author. E-mail: okada.masaki@nipr.ac.jp

の到達が確認され、将来の観測への応用及び、基地インフラの監視等 IoT 活用への応用が期待できることが判明した。

キーワード： 電波調査、昭和基地、南極、IoT、LoRa、第 61 次南極地域観測隊

1. 背景

本研究は産学連携共同研究として株式会社 KDDI 総合研究所と国立極地研究所が計画し、昭和基地周辺における 920 MHz 帯周波数の電波到達範囲及び既存観測への影響等を調査する目的で第 61 次南極地域観測隊において実施された。

920 MHz 帯電波は 2011 年より 920 MHz 帯の利用に関する技術基準が制度化され、2017 年より一般での利用が開始された。2019 年には Low Power Wide Area (LPWA) の利用を想定した規定の見直しが行われ現在に至ってきた (ARIB STD-T108, 2019)。本研究で使用する無線システムは特定小電力無線局と呼ばれる免許不要のシステムに該当し空中線電力は 20 mW 未満であり、使用する周波数帯が 920.5～928.1 MHz の周波数を使用するものである。

LoRa 方式は LPWA システムの通信規格の一種で地域によって技術仕様が定められており、電池駆動で長期間利用可能な通信規格であることを活かし、ガスや水道メータの自動検針のほか灯油の残量検知、設備・機器等の異常検知、商用回線のバックアップ等幅広い利用が想定されている (石黒丈博, 2018)。LoRa 通信規格では、アプリケーションや環境に応じ、帯域幅と拡散率を設定することによって伝送速度と通信距離を調整することができる。通信速度と通信距離はトレードオフの関係にあり、通信距離約 15 km で、伝送速度は最大 250 kbps 程度である。

昭和基地においては、基地基盤設備の監視、基地主要部から離れた建屋の設備監視のほか、越冬期間中の遠隔観測施設での無人観測で得られるデータの伝送など、人の手間を削減しながら安定した基地運営および観測を継続するためのインフラ監視が重要となっている。本調査により 920 MHz 帯電波を活用した多くの監視機器のデータ収集を効率的に行うことができれば、将来的には基地運営の効率化に大きく寄与するものと考えられる。国内においては IoT と呼ばれる技術が普及しつつあるが、昭和基地においては既存の観測への影響等を十分に調査したうえで導入することが重要であり、その前提となる調査を行う意義は大きいと考えられる。

昭和基地においては、多くの周波数帯において能動的・受動的手法による電波観測が行われており、新規に電波を発射する場合には既存観測への影響を十分に評価する必要がある。今回の調査においても、国内においては確認が困難な干渉の調査を行うことも大きな目的の一つである。本調査で使用する周波数帯の電波の特性と使用時間帯を明確にすることにより、基地における観測データへの影響がないことを確認するためのデータとする。

2. 手法

2.1. システム構成

今回の調査は、GPS による位置・時刻情報を発信する「子機」と、子機からの電波を中継する「中継機」、子機および中継機からの電波を受信する「LoRa ゲートウェイ (GW)」からなるシステムを構築して実施した。システム全体の構成を図 1 に示す。機器間の通信には LoRa を利用することとし、いずれの機器も LoRa モジュールとして ST マイクロエレクトロニクス製 B-L072Z-LRWAN1 を用いて製作した。通信部の実装においては国内電波法を踏まえて、全ての機器で搬送波周波数は 922.8 MHz、帯域幅は 125 kHz に固定し、パケットを送信する際には必ずキャリアセンスにより電波強度が規定値以下であることを確認している。また伝搬損の観測という調査目的に沿うよう、Spread Factor は最も通信距離を延長できる 12、送信電力は 13 dBm とした。

子機 (図 2) は重さ 100 g 程度の小型端末で、LoRa モジュール B-L072Z-LRWAN1 と、太陽誘電製 GPS モジュール GYSFDMAXB を使用した GPS 受信機 AE-GYSFDMAXB を搭載したものである。GPS 受信機は独自に作成した基板を用いてマイクロコントローラ ATmega328P と接続している。GPS モジュールからの出力信号は ATmega328P にて処理し、LoRa モジュールには無線通信のみを担わせた。子機は GPS から得られる時刻情報に基づいて、10 秒ごとに時刻および位置情報を送信する機能を持つ。電源には低温対応の単四乾電池を使用しており、およそ 12 時間程度連続でデータを送信することができる。動作温度は -20 度以上での動作を想定して設計されているが、隊員が携帯して使用する場合や、車両に搭載して稼働する環境においては十分であると考えられる。子機の消費電力は、位置情報

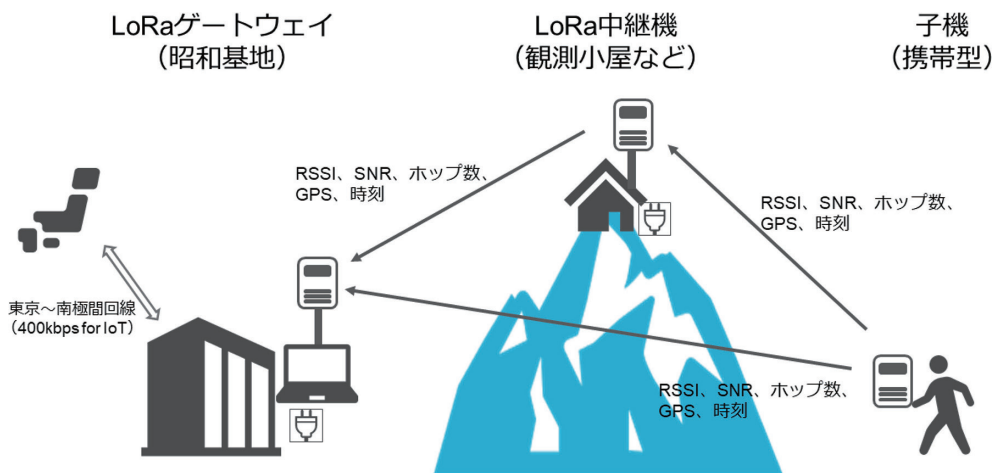


図 1 システム構成図.

Fig. 1. System Configuration.



図 2 調査に使用した子機.

Fig. 2. Slave device used for the survey.

の送信時間間隔に大きく依存する。今回の調査においては比較的短い時間間隔を設定しているが、基地や観測設備監視などに利用する場合は間隔を長くすることで、消費電力を抑えることができる。

GW は子機からの電波を受信しデータを蓄積する機能を持つ (図 3)。データの保存先となるストレージは屋外の低温環境下では故障する可能性があるため、屋外の通信機器と屋内のデータ収集用 PC とをイーサネットケーブルで接続する構成とした。屋外に設置する通信機器には LoRa モジュールの他、PC との接続用に Arduino UNO と Arduino イーサネットシールドを備えている。また機器動作時の外気温を知るため、アナログ・デバイsez 製温度センサ ADT7410 を搭載し、受信データに温度情報を含めて保存することとした。GW は携帯する必要がないため、屋内の安定化電源から電源用ケーブルを伸ばして Arduino UNO に 5V 給電し、Arduino UNO を経由して LoRa モジュールや温度センサにも給電を行った。GW は電波を発信しないため、観測への影響はほとんどないと考えられるが、内部回路からのノイズの発生の可能性については十分検討する必要がある。



図 3 基本観測棟外階段に設置された親機.

Fig. 3. Gateway device installed at the outside of fundamental research Building.

2.2. ネットワークとデータ

今回の測定は 920 MHz 帯電波の到達性を調べるものであり、子機からの電波が直接 GW に届くのか中継機を介して届くのかは未知である。そのため子機側では次の送信先を明示することなくともネットワークが構築されることが望ましい。このような場合、ネットワーク上でルーティングプロトコルを制定し動的に経路を変更する手法が用いられるが、ルーティング制御に伴う消費電力の増加は設備監視など今後のネットワーク拡大の際に問題となってくる。そこで今回使用した機器では同時送信フラッディング (Concurrent Transmission Flooding, CTF) を利用したマルチホップ LoRa 通信を実装し、非常に簡易なネットワーク構築を可能にした。CTF とは Ferrari らによって提案されたフラッディング技術である (Ferrari *et al.*, 2011)。CTF の特徴的な点は、中継ノードがパケットを受信後即座に転送することでデータを伝送していくという点にある。このような中継ノードが複数存在する場合、通常であればパケットが衝突してしまい信号の復調はできない。しかし LoRa 通信方式においては、約 3 dB の信号強度差があればキャプチャ効果により受信側での復調が可能となることが示されている (Liao *et al.*, 2017)。CTF ではフラッディングによりノード間の高精度な時刻同期を行っており、通信タイミングを精密に同期させて送受信にかかる時間を効率化することで低消費電力を実現している。さらに中継ノードを追加するだけでネットワークを拡大できるため、今後の設備監視に向けたネットワーク構築も容易になる。

CTF を採用することで経路制御をせずとも子機から GW までの通信をフラッディング的に行うことが可能である。しかし電波の到達性調査においてはどのような経路をたどって子機から GW まで信号が伝わったかを追うことは重要である。そのため、表 1 に示すとおり通信データに経路情報を含めることとした。

今回の測定では中継機を最大 1 台までという前提とし、子機と中継機間または子機と GW 間の通信をホップ 0、中継機と GW 間の通信をホップ 1 と定めて、各経路において受信信号強度 (RSSI) と信号対雑音比 (SNR) を記録している。その他子機の GPS 座標 (緯度, 経度, 高度)・時刻情報および GW の温度情報を加えたものを 1 レコードとして、最終的に GW と接続された PC には CSV 形式でデータを保存した。

LoRa のプロトコルに従った通信では無線通信によって生じるエラーは訂正されないため通信状況によってはデータ中に誤りが含まれることがある。よって、位置情報および時間情報を基にしたマッピング処理および時系列データプロットにおいては、受信データに対して正常値か否かの判定および正常と考えられるデータの抽出を事前処理として行った。表 2 に各データに対して正常値と判断するデータの最小値と最大値を示す。データの有効性の判断によって無線区間の信号の到達状況の目安とすることができるため、受信した全データに対する有効データ数の比率は各調査においてデータの有効性の判断の材料となると考えられる。

表 1 受信データに含まれるデータ。

Table 1. Reachability data format included in the CSV file.

カラム	データ	摘要
1	0hop目受信RSSI[dB]	子機→中継機または子機→親機間
2	0hop目受信SNR[dB]	
3	1hop目受信RSSI[dB]	中継機→親機間、中継機未使用時は 0
4	1hop目受信SNR[dB]	
5	中継機hop数	0 or 1
6	子機緯度	GPSデータ
7	子機経度	
8	子機高さ[cm]	
9	子機GPS衛星捕捉数	
10	子機時刻	GPSデータ, hhmmss00, 8桁 (UTC+0)
11	日付	GPSデータ, DDMMYY, 6桁
12	ゲートウェイ温度[℃]	

表 2 データの有効範囲.
Table 2. The valid range of data.

	最小値	最大値
年	2020	2020
月	1	12
日	1	31
時	0	24
分	0	60
秒	0	60
緯度 (度)	-72	-65
経度 (度)	35	42
標高 (cm)	-1000	100000
衛星数	1	40

2.3. 設置場所

調査を始めるにあたり GW および中継機の設置場所の選定を行った. GW は観測情報を集約する場所である基本観測棟に設置することとし, その中でも見通しが良くかつ他の観測等に電波障害を起し難い場所である外階段の3階付近を選定した. GW をこの位置に固定した状態で昭和基地周辺での子機と GW 間の通信状況の測定を4度行い, その結果から中継機の設置に相応しい場所を検討した.

中継機の設置場所を選ぶ条件として, 1 か所は基地からオングル海峡側の海氷上を移動するルート上から見通しが良い地点を選定することとし, 基地主要部から1km 程度離れた見晴らし岩に中継機を設置した. 見晴らし岩にある海氷監視カメラの架台に設置した状況を図4に示す. 中継機の電源は調査時間中寒気にさらされるため, 電池による稼働継続が不安視されたが1日程度の稼働が可能であると判断した.

昭和基地がある東オングル島南側エリアおよび西オングル島に子機が移動する場合は, 地形的に蜂の巣山に中継機を設置することにより電波の到達範囲を広げることができることが経験的に知られており, この場所を中継機の2か所目の設置場所とした. 図5は蜂の巣山に設置された無線 LAN 中継用タワーに中継機を設置した様子を写したものである. 蜂の巣山の最高点の標高は43.4m あり, 東オングル島内の最高点である.



図 4 見晴らし岩に設置された中継機。

Fig. 4. Relay device installed at the Miharashi Rock.



図 5 蜂の巣山に設置された中継機。

Fig. 5. Relay device installed at the Hachinosu-yama.

3. 調査

今回、電波到達状況調査は 61 次隊越冬期間中に計 6 回実施した。各調査の実施日、開始時刻及び終了時刻、調査範囲に加えて、受信データ数からエラーを含む無効データを除いた有効データ数および、受信データ数に対する有効データ数の割合を表 3 に示す。第 2 回目の調査によって得られた有効データの割合が 62% とやや低いが、東オングル島南岸エリアは島内の地形の関係から基地主要部からの電波が届きにくいことが分かっており、想定されたレベルの有効率であるといえる。

第 1 回目の調査は、2020 年 2 月 8 日に実施され、主に昭和基地がある東オングル島主要部の通称 A エリア辺縁部の広い範囲で行った。管理棟庶務室を出発し、基本観測棟、自然エネルギー棟、太陽光パネル、推葉庫、機械建築倉庫、第 2 夏季隊員宿舎、第 2 車庫、蜂の巣山、第 1 夏季隊員宿舎、第 1HF レーダー小屋、第 2HF レーダー小屋、見晴らし岩、貯油タンク、C ヘリ待機小屋、清浄大気観測小屋、インテルサット制御室、基本観測棟の順で巡回し、基地の主な建屋を網羅して調査を終えた。得られた経路に沿った有効データ受信地点を地図上（国土地理院、1994）にプロットした図および得られた受信信号強度（RSSI）、信号対雑音比（SNR）を図 6（A）、（B）および（C）にそれぞれに示す。以後、調査結果を示す図において同様にデータを示すこととする。

基本観測棟から見通しがいいエリアにおいて、SNR が著しく低下していることが分かる。調査地域全体にわたって広い範囲でデータが得られており、東オングル島 A エリアと呼ばれる地域内においては、おおむね良好な通信信号強度が得られている。見晴らし岩および立待岬周辺においても十分な強度で電波が受信できていることが確認できたため、見晴らし岩への中継機設置が有力であると判断できる。

第 2 回調査は、2020 年 2 月 20 日に実施し、管理棟庶務室から MF 小屋を経由し、みどり池、胎内岩、みなみ池、えぼし池と、東オングル島の南岸に至る広い範囲で調査を行った。その際に得られた結果を図 7 にそれぞれ示す。基本観測棟から最も遠い場所で、直線距離 2 km ほどの距離があるが、受信強度は、 -130 dBm を下回る程度で推移し、かろうじてデータの受信が可能であった。受信地点が飛び飛びになっているエリアでは、受信できない地点が多くあったことを意味しており、安定なデータ通信が極めて困難であったことがわかる。東オングル島 B エリアと呼ばれる地域において 920 MHz 帯電波を使用する場合には、蜂の巣山

表 3 調査一覧.

Table 3. List of the survey.

調査番号	日付	開始時刻 (UT)	終了時刻 (UT)	調査範囲	取得データ数	データ数	有効率
1	2020/2/8	6:47	11:39	基地主要部	1588	1110	70%
2	2020/2/20	10:13	12:51	東オングル島南岸エリア	2335	1453	62%
3a	2020/4/28	10:04	12:12	基地主要部配電盤小屋	725	675	93%
3b	2020/4/30	6:34	8:25	東オングル棟Bエリア	437	388	89%
4	2020/5/5	9:18	12:38	とつつき岬ルート岩島まで	365	329	90%
5	2020/8/12	9:27	14:33	とつつき岬ルート	971	906	93%
6	2020/10/8	5:01	14:53	西オングル島	4252	4075	96%

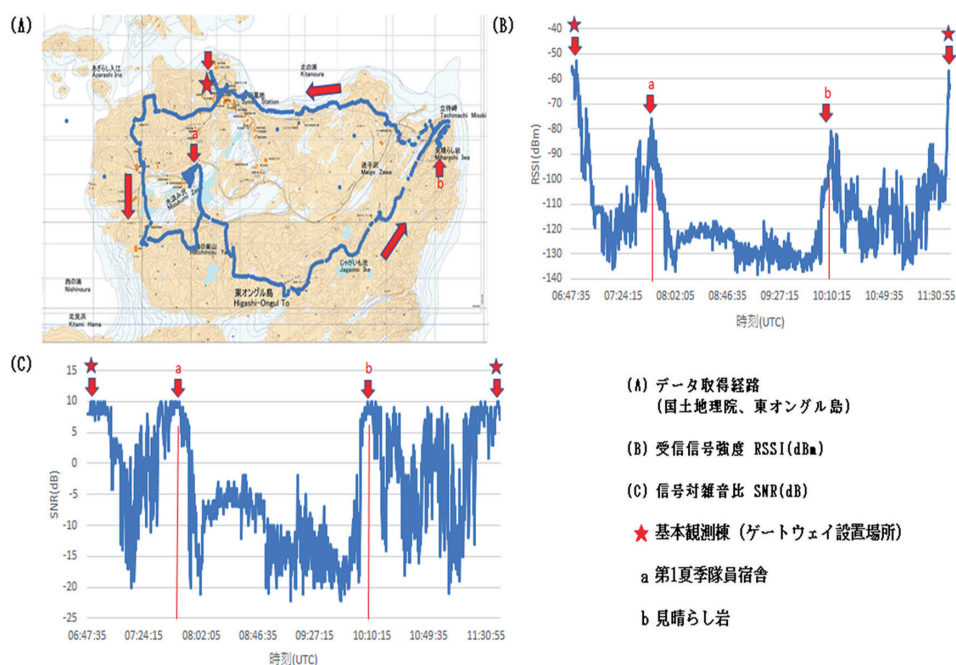


図 6 調査 1 によって得られた 920 MHz 帯電波の到達状況.

Fig. 6. 920 MHz-band reachability data obtained by survey #1.

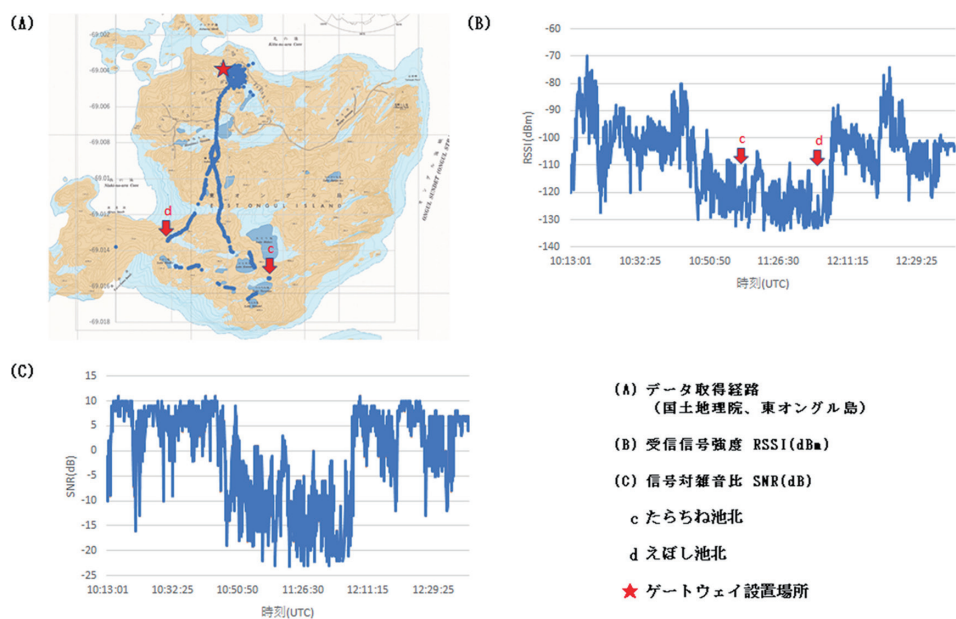


図 7 調査 2 によって得られた 920 MHz 帯電波の到達状況.

Fig. 7. 920 MHz-band reachability data obtained by survey #2.

近辺に中継機を配置することにより安定した通信を行うことができるようになるものと予想される。

第3回調査は、4月28日と30日に実施され一連のデータとして記録された。管理棟庶務室から西地区配電盤小屋、情報処理棟、東地区配電盤小屋を回り、日にちを変えて基地主要部から、MF小屋までの電波到達状況の調査を行った。電力系統の分電を行っている設備がある建屋周辺での電波の到達状況を確認した。得られたデータを図8にそれぞれ示す。建屋内からの電波の強度は著しく弱く、配電盤小屋内からの送信は困難とみられるが、基地主要部エリアでの通信は、SNRは5db前後で推移し、安定した通信品質が得られている。一方、蜂の巣岩周辺までは、比較的通しが良いため、受信信号強度は高い値を示すが、さらに南に移動するに従い、地形の凹凸に従い受信信号強度が変動する様子が見られる。配電盤小屋等の建屋は、壁面が鉄板でおおわれているため、建屋内部からの電波は外へ漏れ難いとみられる。

第4回は5月5日に実施した野外調査と同時に海氷上ルートからの電波の到達状況を調べるため、北の浦からとつぎ岬へ至るルートの途中までの調査を実施した。得られたデータを図9に示す。調査は、FA隊員が海氷上にルート工作に出かける際に携帯してもらう形で調査を実施した。北の裏においては比較的高い受信信号強度を示すが、岩島を回りこんだと

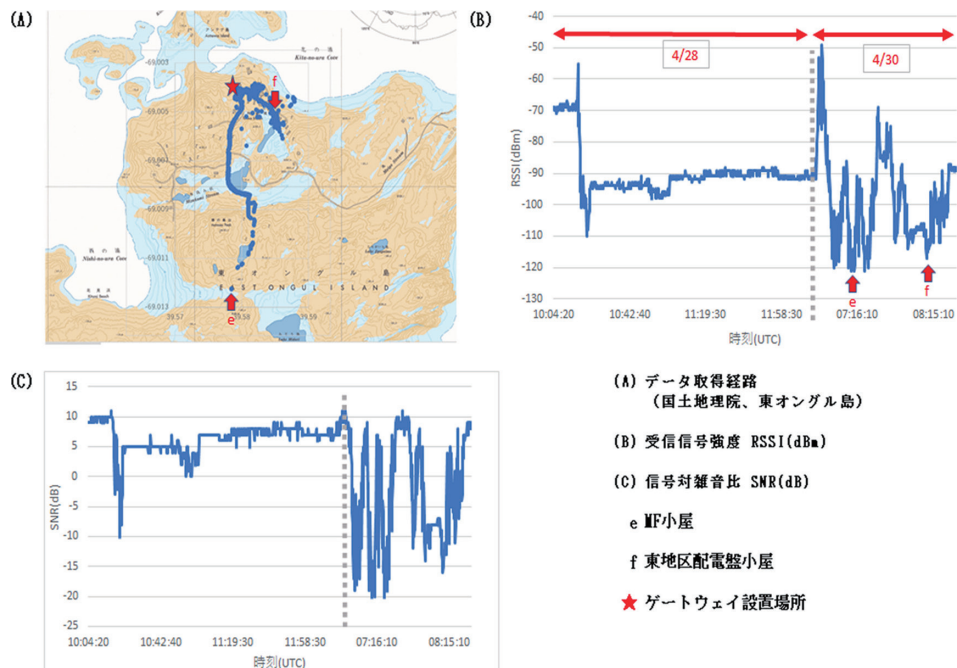


図8 調査3によって得られた920 MHz帯電波の到達状況。

Fig. 8. 920 MHz-band reachability data obtained by survey #3.

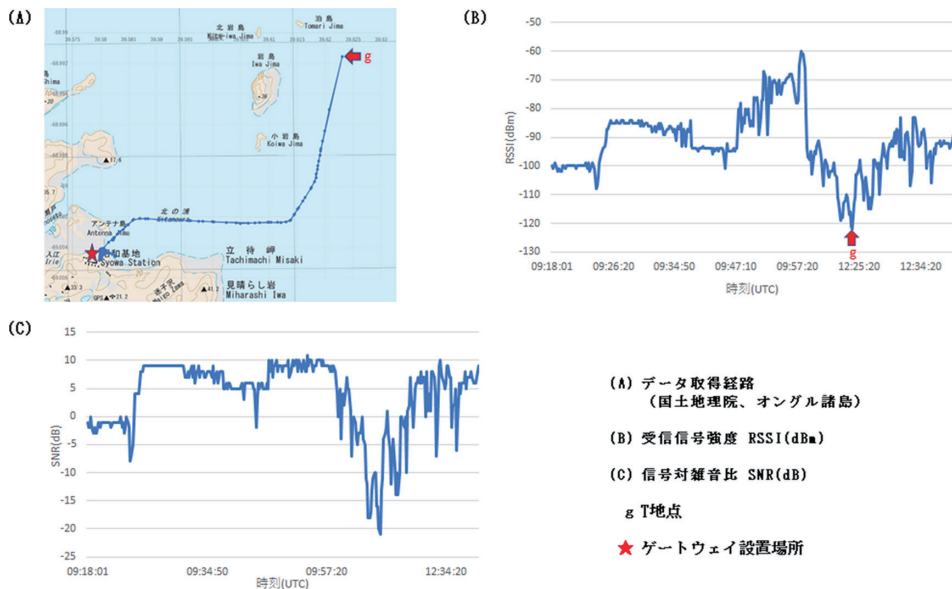


図 9 調査 4 によって得られた 920 MHz 帯電波の到達状況。

Fig. 9. 920 MHz-band reachability data obtained by survey #4.

ここでこの日の調査は終了となった。基本観測棟から見通しの良い北の浦エリアにおいては、非常に安定した信号対雑音比が得られている。

第 5 回の調査は 8 月 12 日に見晴らし岩に中継機を設置して、北の浦からとつつき岬に至るかなり広い範囲で電波の到達状況を確認した。データ受信地点を地図（国土地理院, 2012）にプロットした図と得られた受信データを図 10 にそれぞれ示す。データには 1 ホップしたデータであることが記録され、中継機を介してデータの受信が行われていることがわかる。受信信号強度は、子機と中継機間の強度と、中継機と GW の間の電波強度をそれぞれ独立に記録することができるが、今回得られたデータでは子機と中継機間の受信強度および信号対雑音比をプロットしている。この調査は、今回の調査のなかで最も遠方での調査となり、中継機を設置した見晴らし岩から直線距離にして約 15 km あまりの距離があった。受信信号強度は、調査全体を通じて -140 dBm を下回る強度となっている。それでも、受信データは比較的順調に受信されており、とつつき岬周辺でのルートの屈曲の様子や、S ルートを遡上するルートの様子をとらえることができている。

第 6 回の調査は 10 月 8 日に中継機を蜂の巣山に設置し、東オングル島南側 B エリアから、西オングル島昭和まで海氷上を移動し、西オングル島内を宙空圏モニタリング観測拠点まで移動して計測を行った。データ受信地点を地図（国土地理院, 1989）にプロットした図および得られたデータを図 11 にそれぞれ示す。RSSI および SNR については、ホップ 0 (RSSI0, SNR0) とホップ 1 (RSSI1, SNR1) について、それぞれ青および赤のマークにて受信信号強

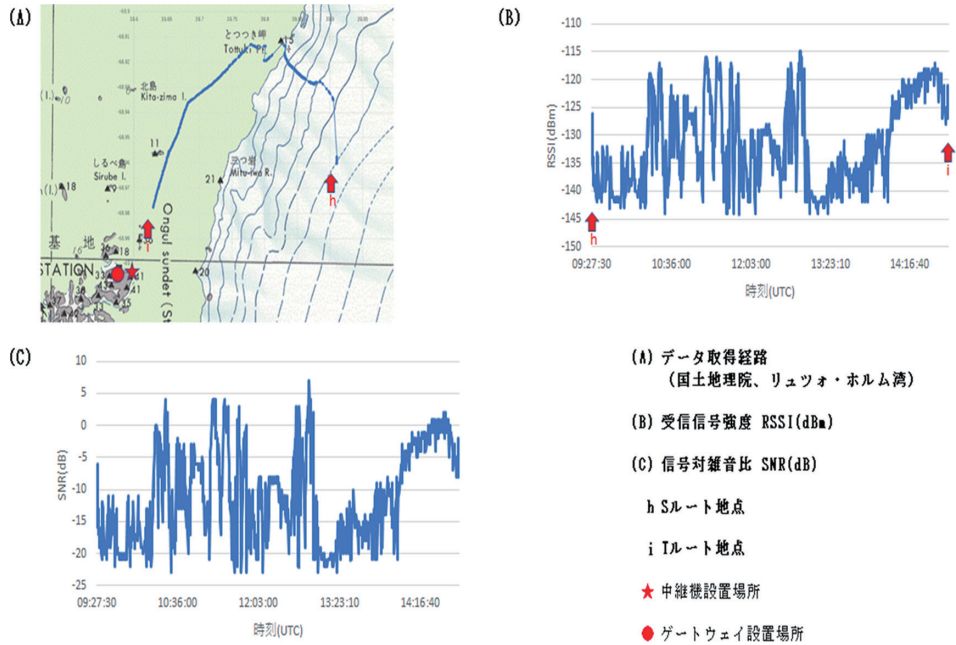


図 10 調査 5 によって得られた 920 MHz 帯電波の到達状況.

Fig. 10. 920 MHz-band reachability data was obtained by survey #5.

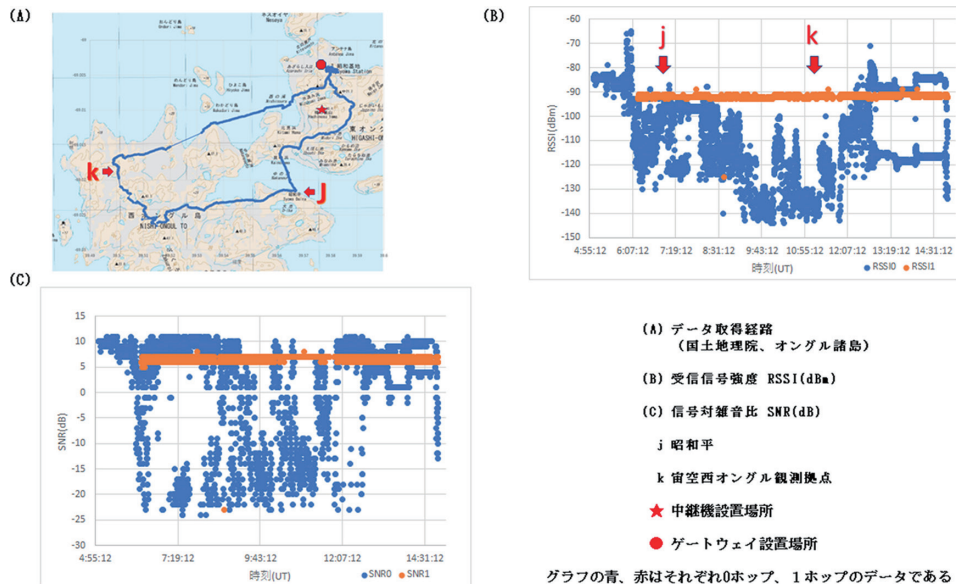


図 11 調査 6 によって得られた 920 MHz 帯電波の到達状況.

Fig. 11. 920 MHz-band reachability data was obtained by survey #6.

度をプロットしている。第2回の調査と比較すると、中継機が存在によって大幅に遠方においてもデータの受信が可能になっていることが分かる。宙空圏モニタリング観測拠点においては、これまでも Wi-Fi による無線伝送が行われており、見通し範囲内であることは判明しているが、920 MHz 帯の電波によっても安定したデータの伝送が可能であることが確認された。

4. 結果

61 次越冬隊によって実施された6回の調査により、昭和基地及びその周辺地域における920 MHz 帯電波の到達状況が明らかになった。基地主要部および東オングル島 A エリアにおいては、予想されたレベル以上に明瞭に電波が到達していることが分かった。

東オングル島 B エリアにおいては、かなり受信信号強度および信号対雑音比の低下がみられたが、中継機の設置によりカバー可能であることが判明した。昭和基地からとつつき岬に至るルート上およびとつつき岬から延びる S ルート上においても、中継機を使用することにより、かなり広い範囲で電波の到達可能であることが分かった。

調査によって得られた受信信号強度のデータから、基地周辺の広い範囲で920 MHz 帯電波が使用可能であることが分かった。これまで基地においては UHF 帯無線機を隊員間の通信に使用しており UHF 帯電波の到達範囲については比較的良く知られていた。このような経験から見晴らし岩西の貯油タンク付近は高度が低いこともあり基地主要部からの UHF 帯電波が届きにくいエリアと考えられていたが、貯油タンク付近においても LoRa 方式による920 MHz 帯電波については比較的良好な受信信号強度であることが判明した。貯油タンクは基地主要部からやや離れており、人手による設備監視が困難なエリアであるが、LoRa による監視が可能なエリアであることが分かった。

蜂の巣山より南側の地域は通常 B エリアと呼ばれ UHF 帯通信機による通信が困難であるため複数名での行動や外出時の許可が必要なエリアである。このエリアには MF 小屋など宙空圏連観測設備があるほか、地圏部門による無人観測に利用されることがあるため、設備監視においては920 MHz 帯電波を活用することができれば、その利用範囲が大きく広がることが予想される。さらに南岸に至る範囲においては、蜂の巣山付近に中継機を設置することにより、胎内岩などの東オングル島南岸に至る広い範囲で920 MHz 帯電波による監視が可能になる可能性が明らかになった。

今回実施した調査により、中継機を見晴らし岩に設置することで、とつつき岬までの東オングル島から外の広い範囲で920 MHz 帯電波による設備監視が可能であることが判明した。これにより、雪上車等の位置情報のほか、設備稼働状況や気象状況の監視に活用できることが分かった。

920 MHz 帯電波を活用したテレメータ利用は第5回および第6回の調査結果より西オング

ル島における無人観測拠点や S17 航空拠点における活用の可能性が広がることが予想され、将来の活用に大きく道が広がることが考えられる。小電力で長距離でのテレメータ利用は南極の越冬期間中における無人観測や設備監視において大きな需要があると考えられる。

今回の調査において、既存の観測に影響を与えるような大きな電波干渉はこれまでのところ報告されなかった。しかし、61 次越冬期間中の観測データの解析は、今後国内において進められることになるため、今後なんらかの干渉が明らかになる可能性が充分にある。今回の調査報告は第一報であり、調査実施状況を早期に明らかにすることにより、他の観測データへの影響の有無を明確にすることも大きな目的の一つである。この報告が今後の観測への影響調査の進展に寄与することができるものと考えられる。

920 MHz 帯の電波によるデータ収集が利用可能なエリアは、中継機を使用することにより数 km から 20 km 程度まで広げることが可能であるため、昭和基地を拠点とした利用のほか、内陸や沿岸の野外調査の拠点をはじめ、内陸旅行等の雪上車を拠点とした移動においても、複数のパーティまたは車両に分散した観測データを収集するような場合においても有効であると予想される。通信に必要となるアンテナについても比較的小型のアンテナであることもこのような移動拠点においての利用には有効であると考えられる。

今回使用した機材は南極昭和基地における電波環境調査のために作られた機材であるため、機器本体からのスプリアスが懸念されたが、機器の改良または遮蔽等を行うことにより改善されるものと期待され、実際の運用に影響を与える可能性は比較的小さく、今後の活用に大きな障害とはならないものと予想される。

謝 辞

本調査実施にご協力いただいた青山雄一越冬隊長をはじめとする第 61 次南極地域観測隊越冬隊の皆様感謝いたします。

文 献

- Ferrari, F., Zimmerling, M., Thiele, L. and Saukh, O. (2011): Efficient Network Flooding and Time Synchronization with Glossy. *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 73–84.
- 一般社団法人 電波産業会 (2019): 920 MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備「標準規格」, ARIB STD-T108.
- 石黒文博 (2018): 新たな 920 MHz 帯電子タグシステム等の導入のための制度整備について. *通信ソサイエティマガジン*, **45**, 78–82.
- 国土地理院 (1994): 東オングル島, 旧測地系 5000 分の 1 地形図.
- 国土地理院 (2012): 1: 25,000 南極地形図 215 オングル諸島.
- 国土地理院 (1989): リュツォ・ホルム湾, 25,000 分の 1 地形図.
- Liao, C., Zhu, G., Kuwabara, D., Suzuki, M. and Morikawa, H. (2017): Multi-Hop LoRa Networks Enabled by Concurrent Transmission. *IEEE Access*, **5**, 21430–21446. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2755858.