

論文

森林域における対地高度別電波受信強度の変化^{*1}大城海斗^{*2}・加治佐剛^{*2}・寺岡行雄^{*2}

大城海斗・加治佐剛・寺岡行雄：森林域における対地高度別電波受信強度の変化 九州森林研究 73：23－26，2020 林業は全産業の中でも非常に労働災害が多い職種である。山間部では地形や樹木などにより電波伝搬が不十分な地域が非常に多く、労働災害が発生した場合、通信が不十分であるために対応が遅れてしまう危険性がある。そこで本研究では森林内の通信状況を改善させるための基礎研究として、山間部での携帯電話周波数帯電波の受信が高度によってどのように変化するかを明らかにすることを目的とした。電波発信基地局からの直線距離がほぼ同等で、異なる標高の3地点で対地高度別の電波強度を計測し、電波発信基地局から受信点までの横断面と比較することで森林内の上空での電波伝搬状況を調査した。その結果、電波は直線的な見通しのある地点で電波強度が上昇すること、電波を受信する対地高度は電波発信基地局から受信点までの標高差と地形が関係していることが明らかになった。

キーワード：電波受信強度、フレネルゾーン、対地高度

I. はじめに

近年、携帯電話やスマートフォンの利用が非常に拡大しており、平成30年度第4四半期（3月末）の携帯電話の契約数は1億7773万で契約数は年々増加している（総務省，2019）。林業における携帯電話の使用においても期待が高まっており、森林内での通信が可能になることで、作業者同士の位置情報や作業状況の確認、労働災害発生時の迅速な連絡、樹木や土壌のデータ管理の簡易化等が可能である。特に人命に関わる労働災害発生時における対応は非常に重要である。林業は全産業の中で最も労働災害が多く、労働災害の発生度合いを表す千人率は平成30年で全産業が2.2であるのに対し、林業は22.4と深刻な状況である（厚生労働省，2018）。一方で森林域における携帯電話の通信は困難な地域が多いため、電波改善の方法を見出す必要がある。森林域の谷部分等の電波通信が困難な場所でも、上空での電波通信ができる可能性があり、その電波を電波中継機によって上空で中継し地上に到達させることで携帯電話の利用が可能になる。

森林域以外における上空での電波の中継は熊本地震の際に稼働しており、係留気球を用いた臨時無線中継システムが初めて設置されるなど電波中継の技術は確立されているが（小野里，2014）、森林域における上空での電波中継は実施されておらず、森林域で電波がどのように伝わっているかということも明らかになっていない。

本研究では森林域の上空で電波を中継させるための先行調査として、対地高度を変化させた際に電波受信強度（以下、電波強度）がどのように変化するか明らかにすることを目的とした。

II. 調査地と方法

1. 調査地と調査対象

調査は鹿児島大学農学部附属高隈演習林で行った。調査対象は鹿児島大学農学部附属高隈演習林内に隣接する au 電波発信基地局とし、調査対象の標高は538 m、周波数は871 MHzであった。

電波発信基地局の高さが21 mであったため、その高さから電波が発せられるとした。そして、調査対象からの距離が約1200 mで、標高の異なる3地点を調査した。A地点の標高は511 m、B地点は419 m、C地点は335 mである（図-1）。

2. 調査手順

調査には電波を計測するためのスペクトルアナライザ（以下、電波受信機）、高度を計測するGNSS受信機（以下、GNSS）、タブレット型PC、最大で90 cmまで膨らませることができる丸型ゴム風船（以下、バルーン）を使用した。電波受信機とGNSS、さらにそれら2種類のデータを記録するタブレット型PCをバルーンの下部に固定し上昇させた。バルーンは割れを防ぐために直径約75 cmになるようヘリウムガスを注入した。バルーンの高さを操作できるようバルーンに3本のタコ糸を結び付け、高度と位置の操作を行った。電波強度は対地高度10 m毎に1分間計測した。GNSSとそれを記録するタブレット型PCは、上空に上昇させている時にはデータを確認することが不可能である。そのため高度がどの程度まで上昇しているか大まかな確認をするため



図-1. 調査地 国土地理院・数値地図25000（地図画像）を改変

^{*1} Ogi, K., Kajisa, T., Teraoka, Y.: Fluctuation of reception signal intensity among different ground altitude in forest area.

^{*2} 鹿児島大学農学部 Fac. Agric., Kagoshima Univ., kagoshima 890-0065, Japan

に、トゥルーパルスによって調査地の地面からバルーンまでの対地高度を計測した。調査する際 GNSS では1分間に60回高度を計測した。電波受信機は1分間で270回のデータを取得した。

3. 調査地の横断図

電波伝搬において発信点から受信点までの遮蔽状況は非常に重要である。そのため、本研究では電波発信基地局から調査地までの横断図を作成した。横断図の作成には ArcGIS の見通し線ツールを使用した。見通し線ツールでは地図上で視点と測点を指定することで、視点と測点を結んだ見通し線と横断図を作成すること

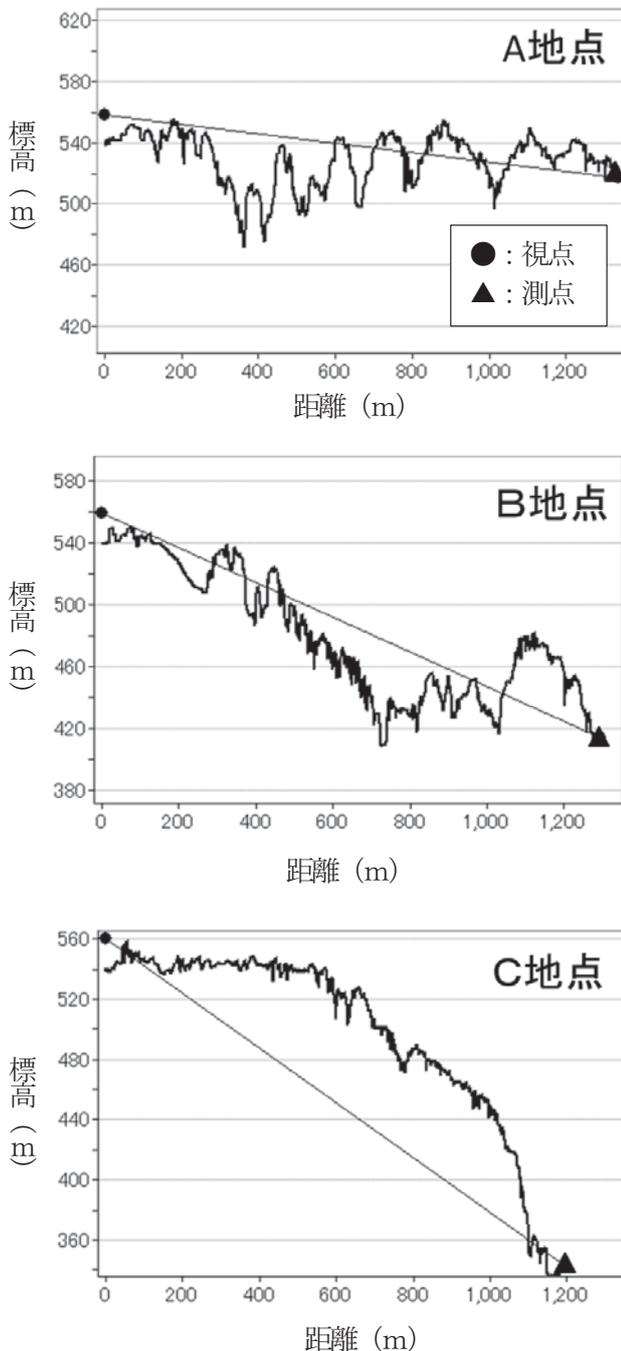


図-2. 電波発信基地局から調査地までの横断図 (●から▲までの実線が見通し線)

が可能である。ここで見通し線とは直線的な見通しのことである。地形だけでなく樹木においても電波を遮蔽するため、横断図には地形と樹木を考慮した断面図を使用した。図-2がA地点からC地点までの横断図である。

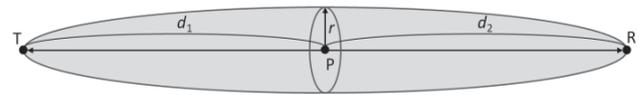


図-3. フレネルゾーン

4. 電波の回折効果

電波の性質の一つとして回折効果がある。電波は楕円状の経路を辿って発信点から受信点まで到達している (桑原, 1997)。電波の回り込みはフレネルゾーンで表される (図-3)。フレネルゾーンの楕円の半径が大きいかほど電波は回り込みやすくなる。楕円の半径は、発信点から受信点までの距離が一定の場合、周波数によって変動する。周波数が高いほど半径は小さくなり、周波数が低いほど半径は大きくなる。

$$r = \sqrt{\lambda * d_1 * d_2 / (d_1 + d_2)} \quad (1)$$

ここで r : フレネルゾーン半径 (m), λ : 波長 (m), d_1 : 送信点 T から半径計測点 P までの距離 (m), d_2 : 受信点 R から半径計測点 P までの距離 (m) である。

Ⅲ. 結果および考察

1. 受信可能高度の予測

距離 1200 m, 周波数 871 MHz としてフレネルゾーン半径を式 (1) にて算出した結果, フレネルゾーン半径は 10.16 m であった。この結果を考慮し, 図-2の横断図内で送信点 T を視点, 受信点 R を測点とした最大半径約 10 m のフレネルゾーンを模した楕円の図形を作成した。この仮想フレネルゾーンを使用し, 各地点における電波を受信することができる対地高度 (以下, 受信可能高度) を予測した。その結果, 各地点の受信可能高度は A 地点で 30 m, B 地点で 50 m, C 地点で 150 m と予測することができた。

2. 高度別の電波強度

電波強度と対地高度の計測結果を図-4に示す。ここで X 軸は経過時間である。総計測時間は A 地点が約 40 分, B 地点が約 20 分, C 地点が約 20 分である。なお対地高度がマイナスを示しているのは, 対地高度は GNSS が測定した高度の値から調査地の標高を引いて計算したものであるため, 多少の誤差が検出された可能性がある。

A 地点では, 電波受信機が受信可能高度と予測された約 30 m に達した高度で電波強度が約 -85 dBm 付近まで上昇した。この高度で電波受信機が調査対象から発信された電波を受信したと考えられる。予測された受信可能高度と電波強度が上昇した高度がほぼ同じであった。また, 電波を受信したと考えられる高度からさらに対地高度を上昇させても電波強度は上昇しなかった。

B 地点では電波受信機が受信可能高度と予測された 60 m よりも低い対地高度約 50 m 地点で電波強度がやや上昇した。この高

度で調査対象から発信された電波を受信していると考えられる。しかし、A地点と比べると、50 m地点以上で電波強度が安定していない。調査中、対地高度60 m付近まで受信機を上昇させたところ、風による影響でバルーンの高さが安定せず、それ以上の上昇も不可能であった。そのため電波強度が安定しなかったのではないかと考えられる。

C地点では対地高度を約90 m上昇させても電波強度は上昇しなかった。調査対象から発信された電波を受信することができなかったと考えられる。想定される受信可能高度は約150 mであり、実際に上昇させることができた対地高度は約90 mであったため、電波受信機は受信可能高度まで上昇しなかったと考えられる。

A地点、B地点において電波を受信したと考えられる対地高度はそれぞれ30 m、50 mだった。ここで地形と電波強度の上昇の関係を考察するために、ArcGISの見通し線ツールで横断図を測点の対地高度をA地点で30 m、B地点で50 mずつ上昇させて作成した結果、見通しが得られないことが分かった(図-5)。また、A地点とB地点で、見通しが得られる対地高度を見通し線ツールで確認したところA地点が34 m、B地点が55 mであった。この2つの結果から電波強度は、見通し点から5 m程度低い高度で上昇すると考えられる。

電波強度は対地高度に対応して上昇することはなかった。この

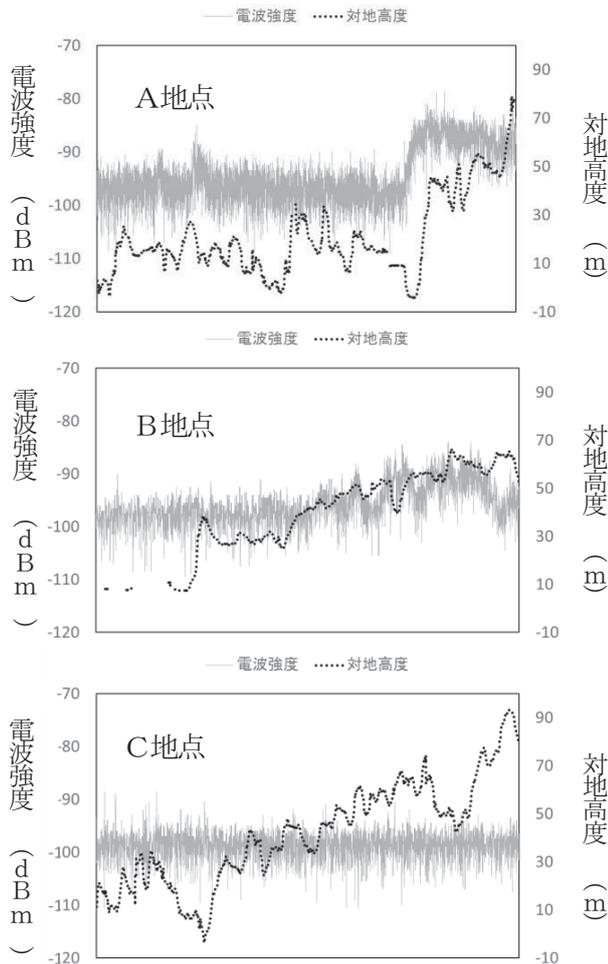


図-4. 各地点における対地高度と電波強度の関係

結果から電波強度は受信可能高度に近づくにつれて上昇するのではなく、受信可能高度に達した地点から電波強度は上昇を始めると考えられた。また、受信可能高度に達する絶対標高(調査地標高+電波強度が変化した対地高度)はA地点が約540 mで、B地点が約470 mという結果から一定ではなかった。電波発信基地局から測点までの地形と標高差によって電波を受信する絶対標高は変化すると考えられる。

IV. 結論

今回の調査では、電波の回り込みによって、見通し点から5 m程度低い高度で電波強度が上昇することが明らかになった。また、電波強度は対地高度の上昇に対応しながら上昇するのではなく、受信可能高度に達した地点から電波強度が上昇し始めるという変化を示すことも明らかになった。さらに、標高差や地形によって受信可能高度は変化するということが明らかになった。

以上のことから、電波発信基地局から受信点までの地形を把握することで携帯電話が使用可能、もしくは使用不可能が知ることが可能になる。ただし、電波強度は距離に応じて減衰するため(高田, 2016)、本研究で得られた知見は電波発信局から受信点までの距離が1200 m以内の場合に限られる。よって今後は距離による電波強度の減衰の調査が必要である。また、現在ドローン等による上空での携帯電話の使用は総務省によって制度が検討中であるため(総務省ホームページ)、この実現によって携帯電話を搭載したドローン等を受信可能高度まで上昇させることで電波の受信が可能である。

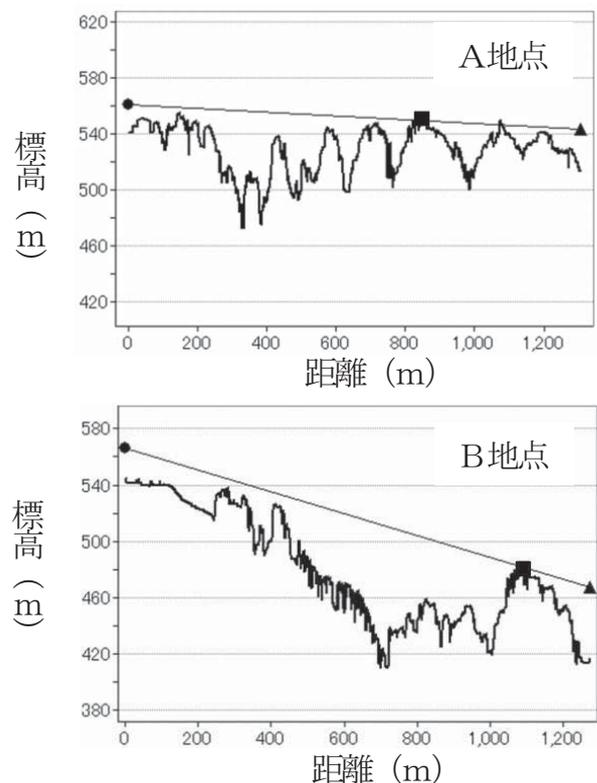


図-5. 電波発信基地局と電波強度が上昇した地点を結んだ見通し線と横断図(■が視点から見てはじめて地面と交わる点)

謝辞

調査の実施にあたり、ご協力いただきました鹿児島大学農学部附属高隈演習林の技術職員の方々、鹿児島大学農学部学生の方々にこの場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

厚生労働省 (2018) 職場のあんぜんサイト

URL: <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/anst00.htm>

桑原守二 (1997) デジタル移動通信, 367 pp, 化学新聞社, 東京

小野里雅彦 (2014) 計測と制御 53: 499-504

総務省 (2019) 電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表

URL: http://www.soumu.go.jp/main_content/000628550.pdf
(2019年10月13日利用)

総務省, 電波利用ホームページ

URL: <https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/uav/>
(2019年11月5日利用)

高田潤一 (2016) 映像情報メディア学会誌, 70: 142-148

(2019年11月10日受付; 2020年1月6日受理)