

令和 2 年 5 月 11 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06437

研究課題名(和文) 920MHz帯無線リンクを用いた土砂災害前兆モニタリングネットワークの研究

研究課題名(英文) Study on Landslide Disaster Monitoring Networks using 920 MHz Band Wireless Links

研究代表者

西 正博(Nishi, Masahiro)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：30316137

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではIoT無線ネットワーク技術として現在注目されている920MHz帯特定小電力無線リンクを用いた土砂災害前兆モニタリングネットワークを開発することを目指し、山中における920MHz帯電波の伝搬損失距離特性の解明を行った。実際に測定した結果より、山中における通信可能範囲を明らかにした。またセンサノードとしては土砂の異様なにおいを対象としたにおいセンサ、および降雨により土砂に含まれた水分量を対象とした土壌水分量センサを設置し、各センサ値と土砂災害前兆現象との関連性を解明することを目指し、長期連続観測を行った。土砂災害の発生していない平常時における各種センサの特性を明確化できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LPWAにも利用される920MHz帯電波は、機器の異常検知やメーター管理など、都市部での利用が多く、これまで山間地での電波伝搬特性は評価されてきたことが少ないため、本研究で得られた成果は今後、自然環境のモニタリングにおけるネットワーク化に貢献できると考える。また、土砂災害においてはその発生を予想することが現在は極めて困難であり、本研究で行ってきたセンシング技術を引き続き研究することで、災害に強い社会を形成する一助となる可能性が高い。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to develop a landslide disaster precursory monitoring network using 920MHz band specific low power wireless links, which is currently attracting attention as an IoT wireless technology. And we clarified propagation loss distance characteristics of the 920MHz band radio waves in the mountains. From the actual measurement results, the maximum communication range in the mountain fields was clarified. As sensor nodes, an odor sensor for unusual odor of soil and a soil moisture sensor for moisture contained in sediment due to rainfall were installed in this research, and we conducted the long-term continuous observation to clarify the relationship between each sensor value and the precursory phenomenon of landslide disaster. As a result, we were able to clarify the characteristics of various sensors during normal times when no landslide disaster occurred.

研究分野：無線通信システム

キーワード：土砂災害 センサネットワーク 920MHz無線 においセンサ 土性水分量センサ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、全国的に豪雨に伴う土砂災害が多発しており、甚大な被害をもたらしている。我が国では諸外国と比べて平野が少なく急峻な地形が広く分布しており、土砂災害危険箇所が多い国土である。土砂災害における被害を軽減するために、これまでも様々な取り組みが行われてきた。国土交通省の土砂災害警戒避難ガイドラインには、災害前に土砂災害の危険性について住民に周知する必要性が指摘されており、ハザードマップによる土砂災害警戒区域の把握や、タイムラインによる避難時行動の手順の確認が重要とされている。しかしながら、自然現象を予測することは難しく、土砂災害がいつどこで発生するかを明確に特定することは困難である。そのため最近では、土砂災害をリアルタイムに監視する要望が高まってきている。住民が土砂災害の前兆や近隣の災害発生情報を収集できれば、適切なタイミングでの避難が実現できる。

2. 研究の目的

本研究では IoT 無線ネットワーク技術として現在注目されている 920MHz 帯特定小電力無線リンクを用いた土砂災害前兆モニタリングネットワークを開発することを目的とする。本ネットワークでは山林に分散配置したセンサノードと外部ネットワークへ接続されているゲートウェイ間を 920MHz 帯無線リンクで接続し、面的に土砂災害の危険地域を監視することを目指す。また、センサノードには地鳴りや山鳴りを対象とした音圧や振動センサ、土砂の異様なにおいを対象としたにおいセンサ、および降雨により土砂に含まれた水分量を対象とした土壌水分量センサを設置し、長期連続観測を行う。各センサ値と土砂災害前兆現象との関連性を定量的に評価し、土砂災害の前兆をいち早く検知するシステムの開発を目指すことを目的として研究開発を行った。

3. 研究の方法

(1)920MHz 帯電波による無線リンク構成の検討

本研究では、土砂災害前兆モニタリングネットワークを現在 IoT の分野で注目を集めている省電力でかつセンサネットワークに利用が検討されている 920MHz 帯の電波を利用して無線リンクを構成することを検討した。

無線リンクを構成する場所としては、土砂災害をモニタリングする山間地が主となる。これまで山間地において 920MHz 帯電波の伝搬特性についてはほとんど明らかにされてきておらず、本研究では実測により山間地での 920MHz 帯電波を測定できる可搬型の送受信システムを開発した。本測定システムでは、小型コンピュータ(Raspberry Pi)に 920MHz 帯無線モジュールを接続し、シリアル通信をベースに電波の受信レベル(RSSI: Received Signal Strength Indicator)を取得できるプログラムを開発し、1 秒間隔にて連続して RSSI を記録できるシステムを構築した。

また、取得した RSSI より送受信アンテナ間の電波伝搬損失を導出するため、アンテナの指向性やアンテナゲインを含めたシステムの損失を推定するための事前実験を行った。送受信アンテナには、将来的に山間地において無線メッシュネットワークを構築することを想定し、全方向から効率的に電波を受信できるモノポールアンテナを用いた。そして実際のモニタリングシステムを考慮し、送受信のアンテナ高は 1m とすることとした。さらに位置情報を取得するため、GPS を利用し、測定システムに GPS モジュールを実装した。

構築した測定システムを実際に山間地の現地に持ち込み、実際に 920MHz 帯電波の距離特性を実測により明らかにした。また山間地としては、できるだけ様々な環境での測定が望ましいが、本研究では、広島市立大学の裏山と実際にモニタリングシステムを設置している広島市佐伯区の河内地区における環境を選定し、その中でも尾根筋と谷筋といった地形の違いや、モニタリングシステムから住民の居住エリアまでの接続回線の構築を考慮した伝搬特性を評価した[1]。

(2)土砂災害センシング技術の検討

本研究では、無線リンク構成の検討の他、モニタリングネットワークを構築した際の土砂災害をセンシングするセンサの開発も併せて取り組んだ。様々なセンシングが考えられる中、本研究では、土砂災害の前兆現象として報告されている、土のにおいや土壌水分量をセンシングすることに着目した。

まず本学のクラブハウス横にある傾斜地に、テスト環境として土のにおいに反応するガスセンサと抵抗型の土壌水分量センサを用いたモニタリングシステムを構築し、長期連続測定を行った。本モニタリングシステムは本学研究室と無線 LAN で接続し、ネットワーク化することでリアルタイムにセンサデータを取得することを可能とした[2]。

また、土のにおいの反応するセンサとして、アロマビット社にも開発を協力してもらい、水晶振動子型のおいセンサを利用したモニタリングシステムの開発も行った。本システムでは、5 つのおいセンサを利用でき、水によく反応するもの、土のにおいに反応するもの、土砂災害時のおいサンプル(土砂災害広報センター制作)に反応するものを主に用いた。また、これらのセンサからの出力値を 5 秒間隔にて連続取得できるよう、プログラムの開発を行った。

4. 研究成果

(1) 920MHz 帯電波による無線リンク構成の検討

図 1 に本研究にて開発した 920MHz 帯電波測定システムの構成を示す。山間地にて測定可能とするため、三脚を用いて可搬型とし、スマートフォンの WiFi テザリングにてラップトップ PC から測定システムを遠隔操作できる構成とした。これによりシステム周辺の測定者の影響を避けながら電波測定を実施した。

図 2 に大学の南東に位置する丸山にて本測定システムを用いた実測により電波伝搬損失の距離特性を導出した結果を示す。測定結果とともに、それぞれの図においては、比較参照のため、自由空間損失と平面大地反射（2 波モデル）損失もあわせて示す。

図 2(a)の測定結果より、谷沿いにおける測定では、70m 付近までにおいて、2 波モデルの理論式に沿わず損失の値が変動している箇所が確認できた。これは、斜面に囲まれた谷により電波が閉じ込められたためであると考えられる。その後、80m 付近から、急激に損失が大きくなる箇所が確認できるが、これは見通しがなくなったためであると推測する。また図 2(b)の測定結果より、尾根沿いにおける測定では、谷沿いや 2 波モデルに比べて損失の変動幅は大きく、30m 付近では急激に損失が大きくなっている箇所が確認できる。これは、樹木による反射波や地表の起伏による影響が強く関係していると考えられる。

また、本研究では実際にモニタリングシステムを設置している広島市佐伯区の河内地区のシステム設置箇所から住民の居住地へ無線ネットワーク化を考慮して、測定を行った。図 3 に河内地区での測定結果を示す。本測定環境においては、川沿いに測定を行っており、図 2(a)の谷沿いと同様、斜面に囲まれた谷により電波が閉じ込められたため、反射波等により伝搬損失に変動が生じたことが考えられる。

これらの測定結果から、どの環境においても電波伝搬損失は距離 100m にて約 100dB となることがわかる。この伝搬損失量は今回の測定システムにおいては最大許容伝搬損失となっており、山間地における送受信アンテナ高が約 1m の低層伝搬においては、無線リンクとして約 100m が限界であることが示された。より伝搬距離を拡大するためには、アンテナ高を高くするか、指向性アンテナを用いるか、送信パワーを高める必要があるが、山間地では省電力化が必須であることや面的なネットワーク化を考慮すると、アンテナ高を高くする手法が適していると考えられる。この場合においては、システムの土台を頑丈にする必要がある。

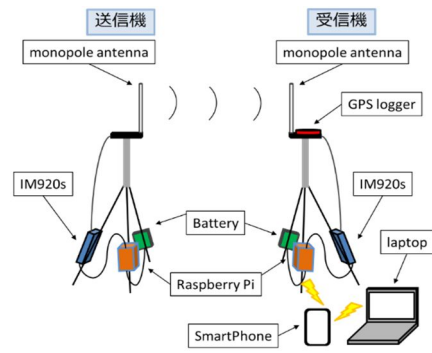
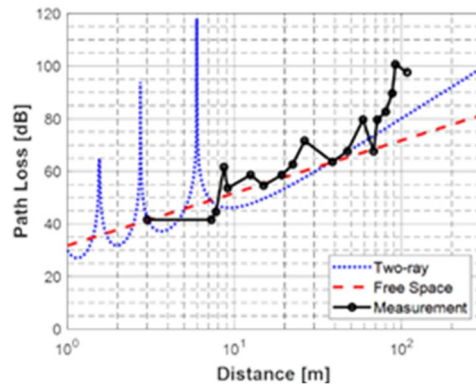
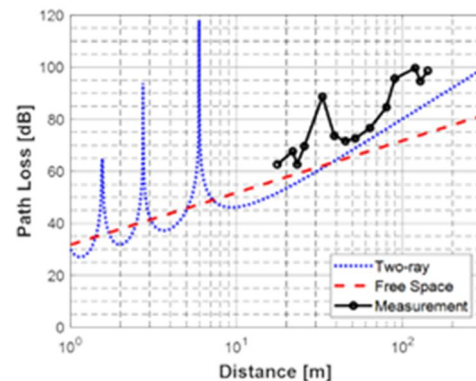


図 1 920MHz 帯電波測定システム



(a) 谷沿い



(b) 尾根沿い

図 2 丸山での電波伝搬損失距離特性

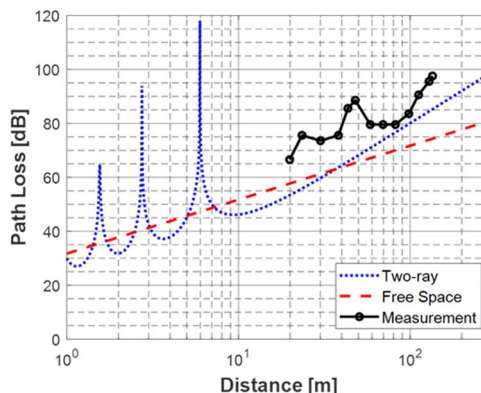


図 3 河内地区での電波伝搬損失距離特性

(2)土砂災害センシング技術の検討

本学敷地内(クラブハウス横傾斜地)において設置したガスセンサや土壌水分量センサの観測データを1年以上取得することができ、2018年7月豪雨災害時のデータも得られた。しかしながら、本学敷地内での土砂移動は発生していなかったため、土砂災害に直接関連したデータは得られていない状況であり、今後も継続してデータを取得していく必要がある。

本システムにて得られたデータの一例として、図4にガスセンサデータおよび気象データ、図5に土壌水分量データおよび気象データをそれぞれ示す。なお、これらのデータは2019年7月と8月に取得したものである。また7月6日前後に広島市において豪雨が発生し、降水量が増大した。図4には上から降水量、気温、湿度、風速、ガスセンサ出力電圧が表示されている。図4に示すようにガスセンサは気象の影響を受けやすく、例えば、湿度が低下した場合や風速が大きくなった場合にガスセンサの値が変動しやすいことが確認できた。降水量が増大し、もしくは湿度が高くなった場合には、ガスセンサの値は安定しやすいことも確認できるが、今後は実際に土砂移動を発生させた場合に、ガスセンサの値に大きな変化が生じるかどうかを検証することが今後の課題である。図5には上から湿度、温度、降水量、異なる深さ(20cm, 35cm, 50cm, 65cm, 80cm)の土壌水分量が示されている。図5に示すように、豪雨時には土壌水分量がどの深さにおいても土壌水分量が上昇し、その後晴天が続いたため、土壌水分量は低下した。また土壌水分量センサの設置箇所が深ければ深いほど、その低下の度合いが緩やかであり、土壌水分量が変化しにくいことが確認できた。

図7に本研究にて開発した水晶振動子型においセンサの変化を示す。上段が晴れた日(2020年1月18日)の、下段が雨の降った日(2020年1月28日)の一日における測定結果を示す。今回の測定結果は過去10分間の測定データの平均値からの差分として表示した。図7より、晴れた日においては、ほとんどセンサ値は変動せず安定しており、その中でもCh.2とCh.3の土のにおいに反応しやすいセンサからの出力値がより大きく変化していることが確認できた。これは気温が高くなるに従いにおい分子が土から揮発したことが要因として考えられる。一方雨の日においては、Ch.1やCh.4といった水に反応しやすいセンサによる変化が大きくなった。これは、降雨によって水蒸気が多くなったことが考えられる、今後も観測を継続して、土砂災害発生の有無でセンサの反応の差異を見出していくことが重要である。

引用文献

[1] 臼井拓也, 小林真, 新浩一, 西正博, “土砂災害センシングネットワークのための山間地における920MHz帯電波伝搬特性の評価,” 信学技報, Vol.119, No.401, ICTSSL2019-54, pp.115-120, 2020.

[2] 小里 春来, 新 浩一, 西 正博, “土砂災害被害軽減を目的としたセンシングシステムの開発における各種センサの評価,” 信学技報, vol. 118, no. 26, ICTSSL2018-12, pp. 65-70, 2018.

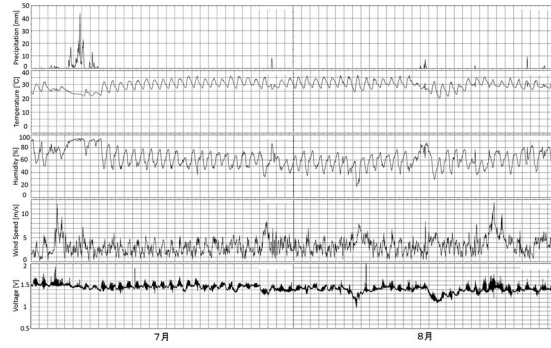


図4 気象データとガスセンサの変化
(2018年7月および8月)

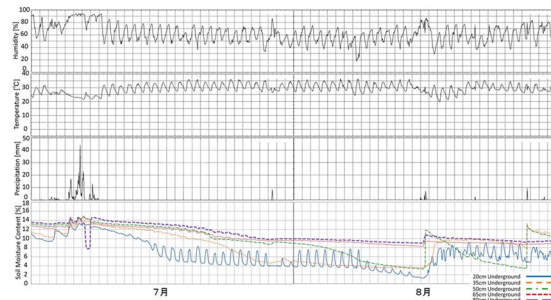


図5 気象データと土壌水分量センサの変化
(2018年7月および8月)

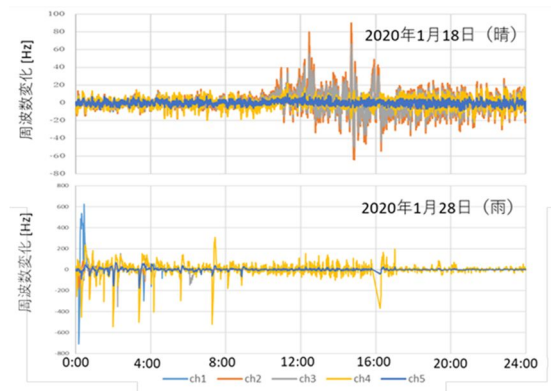


図6 開発したにおいセンサの変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masahiro Nishi, Haruki Kozato, Yusuke Ota, Koichi Shin	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of Disaster Monitoring Techniques in the Grass-root Information Distribution System for Detecting Landslide Dangers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of International Workshop on Assurance in Distributed Systems and Networks (ADSN 2018)	6. 最初と最後の頁 1599-1604
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tatsuya Furukawa, Koichi Shin, and Masahiro Nishi	4. 巻 NOLTA2017
2. 論文標題 Operational Evaluation of Self-powered Monitoring System for Landslide Disasters	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 299-302
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kodama Haruka, Shigeru Fujimura, Shin Koichi, Nishi Masahiro
2. 発表標題 Development of Landslide Disaster-Related IoT System for Elderly People
3. 学会等名 Proc. of IWEIC2019, pp.37-38（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白井 拓也, 小林 真, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 土砂災害センシングネットワークのための 山間地における 920 MHz 帯電波伝搬特性の評価
3. 学会等名 信学技報, ICTSSL研究会2019-54, pp.115-120.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 出原 聡, 小林 真, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 土砂災害前兆検知のためのLPWA送信スケジュールの基礎検討
3. 学会等名 2020 年電子情報通信学会総合大会, A-19-17, p.172.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秦 昂平, 小林 真, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 電波観測システムの高信頼化に関する基礎検討
3. 学会等名 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-15-1, p.458.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀田 禎之介, 小林 真, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 920MHz帯無線を用いたヒト室内移動経路推定手法の基礎検討
3. 学会等名 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-1-23, p.23.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増長 遥, 小林 真, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 電波環境におけるVHF帯ノイズと湿度の関係の基礎調査
3. 学会等名 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-4-35, p.256.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本真美, 小林 真, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 920MHz帯電波を用いた土壌水分量の推定手法の基礎検討
3. 学会等名 2020 年電子情報通信学会総合大会, B-1-22, p.22.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳本敬祐, 小林 真, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 スマートフォン連携型の土砂災害関連情報TV通知システムの開発
3. 学会等名 2020 年電子情報通信学会総合大会, A-19-18, p.173.
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 児玉大空, 小里春来, 新浩一, 西正博
2. 発表標題 TVモニタを用いた土砂災害関連情報通知システムの開発
3. 学会等名 2019電子情報通信学会総合大会, A-19-2
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 臼井拓也, 新浩一, 西正博
2. 発表標題 山間地における920MHz帯電波伝搬損失の距離特性
3. 学会等名 第69回電気・情報関連学会中国支部連合大会, R18-10-03
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田裕亮, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 深層学習を用いた画像処理による土砂災害危険度自動判定手法の検討
3. 学会等名 信学技報, vol. 118, no. 26, ICTSSL2018-13, pp. 71-76
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小里 春来, 新 浩一, 西 正博
2. 発表標題 土砂災害被害軽減を目的としたセンシングシステムの開発における各種センサの評価
3. 学会等名 信学技報, vol. 118, no. 26, ICTSSL2018-12, pp. 65-70
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西 正博, 新 浩一, 太田 裕亮, 小里 春来, 佐川 健太
2. 発表標題 土砂災害被害軽減を目的とした草の根情報伝搬システムにおけるモニタリング技術の開発
3. 学会等名 信学技報, 2017年度第2回アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西 正博, 新 浩一, 井上伸二, 河野英太郎, 大田知行, 石田賢治, 宇都宮栄二, 角田良明
2. 発表標題 土砂災害の被害軽減を目指したMANETによる草の根情報伝搬システムの研究開発
3. 学会等名 信学技報, 2017年度第1回アシュアランスシステム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小里春来, 新浩一, 西正博
2. 発表標題 各種センサによる連続観測を目的とした土砂災害センシングシステムの開発
3. 学会等名 第68回電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田裕亮, 新浩一, 西正博
2. 発表標題 深層学習による画像領域を考慮した土砂災害危険度判定の評価
3. 学会等名 第68回電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	新 浩一 (Shin Koichi)	広島市立大学・情報科学部・講師 (25403)	
研究協力者	小林 真 (Kobayashi Makoto)	広島市立大学・情報科学部・助教 (25403)	