

スマートフォンによる雪崩警戒／救助支援システム

庄島 優矢¹ 古庄 裕貴¹ 中西 恒夫¹

概要：本稿では、雪崩遭難者の現場での救助に用いられる雪崩ビーコンの代替手段となる、スマートフォンを用いたシステムを提案、試作する。提案システムは Bluetooth Low Energy によるビーコン技術を用いている。救助者のスマートフォンが発する救助者ビーコン信号に呼応して、遭難者のスマートフォンは遭難者ビーコン信号を発するとともに、アラーム音の吹鳴とバイブレーションを始める。救助者は遭難者ビーコン信号の受信信号強度から推算される遭難者までの距離とアラーム音、バイブレーションを頼りに、雪に埋もれた遭難者を探し当てる。積雪環境下で行った実験では、雪中に埋めたスマートフォンを平均 150 秒で探し出すことに成功した。加えて、当該システムは登山者の入山申請、下山報告、現在位置の定期報告、雪崩警戒情報提供等の機能も有する。

1. はじめに

雪崩は、遭難事例こそ多くはないものの、ひとたび巻き込まれば死に直結しがちな自然災害である。文献 [1], [2] の資料によれば、1924 年以降、雪崩による死者数は特異な事故があった年を除けば、年 20 人を超えることは稀である。過去は工事や農林業のさなかに雪崩に巻き込まれる例が多かったが、1960 年代以降は登山や山スキーなどのアウトドア活動での遭難例が多い。1990 年度から 2012 年度までの雪崩死亡事故は 122 件中、アウトドア活動等での事故例は 101 件（うち死亡事故は 92 件）である [3]。

雪崩の遭難者は、立木や露岩による打撲を免れても、早急に雪中から救出しなければ窒息や低体温により死に至る。救助隊の到着には時間がかかることから、幸い雪崩の難を逃れた者による現場での早期救助が遭難者の生還のためには重要である。その目的のためのツールとして、身につけた電波発信機からの電波を用いて雪中の遭難者を探索する電波ビーコンがある。しかし、電波ビーコンを知らなかったり、また知っていても稀にしか使わない電波ビーコンの購入をためらったり、あるいはわずかの重さを嫌ったりで、携帯することなく登山する者も居るようである [4]。

そこで本稿では、いまや個人での保有率が 6 割近くに及び、また登山時の持ち物として携帯が推奨されているスマートフォンを活用し、登山者に雪崩への警戒を促すとともに、被災時には電波ビーコンの代替手段として遭難者の

早期救助を可能とする、雪崩警戒／救助支援システムを開発する。システムは事前準備が簡単であり、追加の出費を必要しないものを目指す。

本稿第 2 節では、雪崩の一般的知識と雪崩遭難者の救助の方法について述べる。第 3 節では開発するシステムで用いている、Bluetooth Low Energy によるビーコン技術について述べる。第 4 節ではスマートフォンを用いた雪崩警戒／救助支援システムを提案、試作し、第 5 節でその評価を行う。最後に第 6 節で本稿を総括する。

2. 雪崩とその遭難者の救助

2.1 雪崩の一般的知識

雪崩の分類：雪崩はその発生のメカニズムにより全層雪崩、表層雪崩に分類される。

全層雪崩は地表面上の積雪が丸々崩れ落ちる雪崩である。全層雪崩は、気温の上がる春先の融雪期、天気は暖気か雨天の日、気温が上昇する昼間に、過去に全層雪崩が起きた場所で生じやすく、発生前にはクラックなどの前兆現象を見ることができる [5]。

一方、表層雪崩は、積雪後時間が経ち固くしまった旧雪上に、雪粒同士の連結が乏しい数 mm から数 cm の弱層が形成され、さらにその上に雪が積もり、何かしらのきっかけで弱層より上の雪が弱層上を滑り落ちることにより生じる [1]。弱層は降雪、日射、夜間の冷却、大気の湿気、風、あられなどさまざまな理由で形成される。

全層雪崩は発生する時期や場所などが予測しやすく前兆現象も見られるのに対して、表層雪崩は雪の中の状態や外的な衝撃などさまざまな理由によって発生し、天候もあま

¹ 福岡大学工学部電子情報工学科
Fukuoka University

^{†1} 現在、株式会社ゼンリン
Presently with Zenrin Co., Ltd.

り関係しないため、その発生を予測することは困難である。実際、雪崩の遭難事例は表層雪崩に因るものが多い。

雪崩の規模: 雪崩の規模と想定される被害については、国々によって異なる尺度が定義されているが、たとえばカナダでは表1のようなものを定義している [6]。

表 1 雪崩の規模と想定される被害

規模	想定される被害	質量 [t]	走路長 [m]
1	人的被害はほとんど生じない。	< 10	10
2	人が埋まり、負傷者や死者が出る。	10 ²	100
3	車が埋まり破壊される。トラックにダメージが出る。木造の建物が破壊される。2, 3本の木が倒される。	10 ³	1000
4	列車や大きなトラック、数棟の建物が破壊される。4ha程度の森林が破壊される。	10 ⁴	2000
5	知りうる限り最大の雪崩。村落や 40ha 程度の森林が破壊される。	10 ⁵	3000

雪崩遭難者: 雪崩の遭難者の死亡原因は、窒息、低体温症、外傷などが挙げられる。Brugger らの調査 [7] では、スイスの 946 件の遭難事例によるデータでは 18 分以内に救出できた場合の遭難者の生存率は 80%を超えるが、それ以降は急激に下がり、60 分後では 20%台まで落ち込む。また、カナダの 301 件の遭難事例によるデータでは、10 分以内に救出できた場合の生存率は 77%、その後急激に落ち込み、35 分後では 7%と、スイスよりも生存は厳しい。カナダのほうがより雪が深く腹部の損傷や窒息に陥りやすいことが生存率のちがいと見られている。我が国の北海道における 147 件の遭難事例によるデータでも、15 分以内に救出された遭難者は全員が生存、30 分以内の場合でも生存者が死亡者を上回り、それ以降では死亡者のほうが多くなる [1]。地域的な差はあるものの、概して十数分を過ぎれば遭難者の生存は危ぶまれる。しかし、呼吸に必要な空気の通り道があれば低体温状態での生存が望め、数時間経っての生存例もあり、時間の経過は救出を断念する理由とはならない。

2.2 雪崩遭難者の救助手段

ゾンデ棒: 雪に埋もれた雪崩遭難者を検索するもっとも基本的な方法はゾンデ棒と呼ばれる長さ 3m 程度の金属製の棒を用いるものである。一定間隔毎に雪面にゾンデを挿すことで遭難者を検索する。雪崩の難を逃れた者が事故現場で使える救助手段でもあるが、一般的には捜索隊が組織的に用いる方法であり、一列に並んだ隊員がリーダーの号令のもと漸進しながら捜索を行う。ゾンデ棒を用いる方法と

しては、塹壕のような空堀を掘り、その中に入って壁にゾンデ棒を挿して遭難者を捜すトレンチ法もある [1]。ゾンデ棒による方法の場合、20 人の隊員が 100m×100m の範囲を捜索するのに 20 時間を要し、それでも対象区域を 100%カバーすることはできない [8]。このように救助活動には人手と労力を要するうえに、救助の要請から救助隊の到着までには時間もかかり、遭難者を生存状態で救出することは難しい。

雪崩ビーコン: 雪崩に埋もれた遭難者の救出は一刻を争うことから現場での早期救助が重要となる。最も一般的で確実な早期救助の手段は雪崩ビーコンである。雪崩ビーコンは、雪崩遭難者の救助のための電波発信機兼探知機であり、発信状態と受信状態のふたつの状態を持つ。雪山登山をする登山者のパーティ全員が雪崩ビーコンを所持し、登山の間、それを発信状態にしておく。雪崩に遭難した際、雪に埋もれて身動きのとれない遭難者の雪崩ビーコンは、当然ながら発信状態のままにある。一方、雪崩の難を逃れた者は、自身の所持する雪崩ビーコンを受信状態に切り換え、遭難者の雪崩ビーコンから発信される電波の飛来方向を頼りに遭難者を検索する。雪崩ビーコンの発信周波数は 457kHz と世界的に標準化されている。雪崩ビーコンを用いれば、50m 四方の広さで深さ 1m 以内に埋もれた遭難者を 5 分以内に発見できる [1]。市販の雪崩ビーコンの価格は 2018 年時点で 3~6 万円である。

電探システム: 救助者が所持する捜索用の送受信機と登山者があらかじめ身につける反射器から構成される。登山者が雪崩に埋もれた際、救助者は捜索用の送受信機から電磁波を放射する。反射器はショットキーダイオードとアンテナでなる無電源の回路であり、受信した電波をショットキーダイオードの非線形性を用いて周波数を過倍した電波を再放射する。救助者の送受信機は反射器から再放射される電波を頼りに遭難者を検索する。しかし、我が国では電探システムの使用に陸上特殊無線技士 3 級以上の資格が必要であるうえ、送受信機の重さは 1kg 程あり、一般の登山者が保有、運用するには敷居が高い [4]。

ヤマタン: ヤマタンは富山県内で 1988 年から運用されている山岳事故一般の救助要請システムである [9]。登山者は無料で貸し出されているペンダント型の発信機を身につける。遭難した登山者を探索する際、救助隊はこの発信器が発信する電波を、ヘリコプタを使って上空から探索することにより、遭難者のおおよその位置を特定することが可能である。しかし、広範囲の中での遭難者のおおよその位置を特定するためのシステムであり、雪に埋もれた遭難者の場所を現場で特定する用途には向かない。

GPS とスマートフォンによるシステム: 藤井らによる実証実験システム [10] は、スマートフォンに搭載された GPS を用いて、登山者の位置を位置特定サーバに常時登録しておき、救助が必要なときは登山者の位置をサーバに照

会することで遭難者の救助に役立つものである。携帯電話網のサービスエリア外でも使えるよう、雪上車に係留した気球、あるいはドローンに中継器を載せ、スマートフォンの位置特定サーバへのアクセスを担保するようにしている。救助隊による救助を前提とするシステムであるが、位置特定サーバへのアクセスが可能ならば、現場での遭難直後の救助にも利用できるものと考えられる。しかし、位置特定サーバへのアクセス手段が大がかりであり、遭難者の位置特定の精度はGPSの測位精度（通常、1~3mの誤差）次第となる。

3. Bluetooth Low Energy によるビーコンデバイス

ビーコンデバイスは Bluetooth Low Energy（以下 BLE）を用いて、一定間隔で自身の個体識別子をブロードキャストするデバイスである。BLE に対応するスマートフォンは、自身がビーコンデバイスとなることも、ビーコンデバイスからの信号を受信することも可能である。ビーコンデバイスからの信号を受信した際の信号強度から、幾分精度は劣るものの、スマートフォンからビーコンデバイスまでの距離を割り出すことも可能である。本稿で開発する雪崩警戒/救助支援システムは BLE によるビーコン技術を採用するものである。以下、BLE によるビーコン技術について概説する。

3.1 Bluetooth Low Energy

Bluetooth は、数 m から数十 m の近距離において、デバイス間でデータの送受信を行う無線接続技術であり、Basic Rate (BR) / Enhanced Data Rate (EDR) と Low Energy (LE) の、互換性のないふたつの規格がある [11]。2013 年以降に出荷されたスマートフォンやタブレットの多くが LE 規格に対応している [12]。通信の速度と距離にも依存するが消費電力が小さく、バッテリーを長く持たせる必要のある機器に適した仕様となっており、長時間の継続的な通信を行う用途には用いられない。

BLE ではサービスを提供する機器をペリフェラル、利用する機器をセントラルと呼ぶ。ペリフェラルは自身が提供するサービスに係る情報をアドバタイジングパケットとして周囲に定期的にブロードキャストする。アドバタイジングパケットのペイロードには、ひとつ以上の AD Structure と呼ばれるブロックが連続して格納される。

AD Structure は可変長のブロックであり、表 2 に示す構造となっている。AD Length には、1 バイト長の AD Type フィールドと可変長の AD Data フィールドをあわせたバイト長が格納される。AD Type には AD Data に格納されるデータの種別を表すコードが格納される。

表 2 AD Structure の構造 [12]

オフセット	バイト数	フィールド名
0	1	AD Length
1	1	AD Type
2~(n+1)	n	AD Data

3.2 ビーコンデバイス

ビーコンデバイスは自身の個体識別子を周辺にブロードキャストするデバイスであり [12]、BLE を用いたビーコン規格としては iBeacon や Eddystone が知られている。いずれもビーコンデバイスはペリフェラルとして、ビーコン信号を受信するデバイスはセントラルとなる。

iBeacon は、Apple 社によって規格化された、専ら iOS 上で利用される技術であり、iOS 7 以降には標準搭載されている。iBeacon デバイスは、表 3 に示す 27 バイト長の AD Structure を含んだアドバタイジングパケットをブロードキャストする。AD Type の 0xff は製造者が自由に構造を定義できる製造者固有データを意味し、Manufacturer ID の 0x004c は製造者の ID、すなわち Apple 社を意味する。以降のフィールドは Apple 社が定義する構造となっている。Manufacturer Data の 0x1502 は当該パケットが iBeacon に関するものであることを意味する。Proximity UUID は iBeacon を応用するサービスを識別するユニークな ID である。Major, Minor には通常、iBeacon デバイスの個体識別子を充てる。Signal Power には送信時の信号強度が格納される。Manufacturer ID, Manufacturer Data はリトルエンディアンで格納される。

表 3 iBeacon デバイスが送信するデータ [12]

オフセット	バイト数	フィールド名	値
0	1	AD Length	26
1	1	AD Type	0xff
2~3	2	Manufacturer ID	0x004c
4~5	2	Manufacturer Data	0x1502
6~21	16	Proximity UUID	
22~23	2	Major	
24~25	2	Minor	
26	1	Signal Power	

Android OS は iBeacon を公式にはサポートしていないものの、iOS と同様に iBeacon を利用できるオープンなライブラリが利用可能である。

3.3 AltBeacon ライブラリ

AltBeacon [13] は、Radius Networks 社によって定義された BLE ビーコンのためのオープンな仕様であり、Android をはじめとするいくつかの異なる環境向けのライブラリが実装されている。

AltBeacon のアドバタイジングパケットに含まれる AD Structure は、表 4 に示す 28 バイト長の構造となっている。

フィールド AD LENGTH, AD TYPE, MFG ID, BEACON CODE, BEACON ID, REFERENCE RSSI は, iBeacon なら AD Length, AD Type, Manufacturer ID, Manufacturer Data, Proximity UUID と Major と Minor, Signal Power に相当するフィールドである。MFG RESERVED は, 特別な機能の実装のために予約されている 1 バイトであり, AltBeacon 固有で iBeacon にはないフィールドである。この 1 バイトのために, AltBeacon の AD LENGTH フィールドの値は, iBeacon のそれよりも 1 大きな値となっている。

表 4 AltBeacon プロトコルのフィールド説明 [13]

オフセット	バイト数	フィールド名
0	1	AD LENGTH
1	1	AD TYPE
2~3	2	MFG ID
4~5	2	BEACON CODE
6~25	20	BEACON ID
26	1	REFERENCE RSSI
27	1	MFG RESERVED

AltBeacon ライブラリでは, これらのフィールドの値を定義できるため, MFG ID にアップル社を意味する 0x004c, BEACON CODE に 0x1502 (いずれもリトルエンディアン) を設定すれば, AltBeacon ライブラリで, ひいては Android で iBeacon が利用可能となる。

4. スマートフォンを活用した雪崩警戒／救助支援システム

本節では, 本研究で提案, 試作するスマートフォンベースの雪崩警戒／救助支援システムについて述べる。当該システムはスキーや雪山登山等のアウトドア活動で用いられることを想定しており, 雪崩一般の警戒情報提供と, 雪崩ビーコンの代替手段として表 1 のスケール 2 程度の表層雪崩の遭難者の救出支援を目的としている。

本システムは前節に述べた BLE ベースのビーコン技術を用いる。BLE の利用周波数帯は 2.4GHz であるが, 文献 [14] によれば, 深さ 0.5~1m における電波伝搬の減衰は 2~3dB であり, 雪に埋もれた遭難者の検出に利用できるものと判断している。また, 文献 [10] での実証実験の結果もそれを支持する。

4.1 システムの全体構成

試作するシステムの全体構成を図 1 に示す。システムはスマートフォン, スマートウォッチ, サーバのコンポーネントで構成される。

システムの中核となるのは登山者の携帯する BLE に対応したスマートフォンである。スマートフォン上では, 雪崩ビーコンの代替手段となり, かつ登山者とシステムのイ

ンターフェースとなる, 雪崩警戒／救助支援アプリケーション」を実行する。アプリケーションは, 雪崩に遭い雪に埋もれた際には救助を求めべく他のスマートフォンに向けて BLE のパケットを発信し, また雪崩の難を逃れた際には救助を支援するべく BLE パケットを発信する他のスマートフォンの位置を探る。また, 可能な場合は携帯電話網を介してサーバにアクセスし, 入山申請, 下山報告, 定期位置報告, 雪崩警戒地域や雪崩注意報の取得, 救助要請を行う。なお, 遭難者の捜索の際にはサーバへのアクセスは必要としないことに注意されたい。

スマートウォッチは心拍数測定機能を有するものとし, ペアリングしているスマートフォンに対して, 登山者の心拍数等の情報を常時提供する。スマートウォッチはシステムの必須コンポーネントではない。

各コンポーネントの責務は以下の通りである。

スマートフォン

- 雪崩警戒情報の表示
- 登山者の位置情報の測位
- 救助者ビーコン信号の発信 (雪崩遭難時)
- 遭難者ビーコン信号の探索 (雪崩遭難時)
- 遭難時のアラームの吹鳴とバイブレーション (雪崩遭難時)

スマートウォッチ (optional)

- 登山者の心拍数の取得とスマートフォンへの通知

サーバ

- 登山者情報の登録／更新／削除
- 雪崩警戒情報の提供

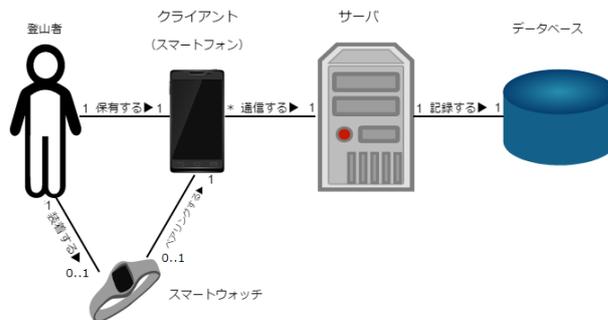


図 1 システム全体構成図

4.2 用語定義

システムの説明に使用する用語の定義を以下に述べる。

- **登山者**: 登山やスキー等の山岳活動を行うために雪山に行く者。雪崩に被災した後の登山者は, 雪崩によって雪に埋もれて動けなくなった遭難者と, 雪崩には遭ったものの埋もれることなく身動きがとれる救助者とに分かれる。
- **登山者情報**: 登山者情報はスマートフォンを識別する ID と下山予定日時, 緯度と経度で表される位置情報と

で構成される。

- **ビーコン信号:** ビーコン信号はスマートフォンが iBeacon のフォーマットで発信するアドバタイズパケットであり、後に述べるビーコン情報を含む。ビーコン信号には遭難者ビーコン信号と救助者ビーコン信号がある。
- **ビーコン情報:** ビーコン信号のパケット内の UUID と Major と Minor のフィールド。遭難者ビーコン信号と救助者ビーコン信号のそれぞれのビーコン情報は以下通りである。
 - UUID はスマートフォンアプリケーション内で一意の値でどちらの場合でも同じ。
 - Major はシステム内で割り当てられた ID。
 - Minor は遭難者ビーコン信号の場合はスマートウォッチから受け取る心拍数情報、救助者ビーコン信号の場合は Minor に設定できる最大値。

4.3 雪崩警戒／救助支援システムのユーザインターフェース

スマートフォン上で実行される雪崩警戒／救助支援アプリケーションがシステムのユーザインターフェースとなる。雪崩警戒／救助支援アプリケーションは図 2 から図 5 に示す画面を有する。これらの画面を横断するかたちで次の小節に述べるシステムの諸機能が実現される。

アプリケーション起動直後は初期画面が表示される。最初に登山者は初期画面から「入山申請」ボタンを押し、入山申請画面を呼び出して登山者情報の入力を行う。入力された登山者情報はサーバに送信され、データベースに登録される。その後、登山者は初期画面から「雪山登山」ボタンを押し、通常画面を呼び出す。通常画面は、登山者が雪崩警戒地域に立ち入った際、画面と音声とで登山者に注意を喚起する。雪崩の難を逃れた後、遭難者の救助にあたる際には、通常画面で「遭難者を検索する」ボタンを押し、するとアプリケーションの画面は救助支援画面に切り替わり、救助者から遭難者までの距離を表示されるようになる。一方、遭難者のアプリケーションは通常画面のままであるが、救助者ビーコン信号を受信すると、後述するようにアラーム音の吹鳴とバイブレーションを始める。下山完了後、登山者は初期画面から「下山報告」ボタンを押し、登山者情報のデータベースからの削除をサーバに要求する。

4.4 雪崩警戒／救助支援システムの機能

雪崩警戒情報の提供: 雪崩警戒／救助支援アプリケーションは、雪崩の警戒が必要な場所を登山者が通過する際には、通常画面上で画像と音声によって注意を促す機能を備える。アプリケーションは、登山者が入山申請画面で登山者情報の登録を行った後、サーバから入山地域一帯の、雪崩の警戒が必要な場所、過去に雪崩の発生している時期

と場所の情報をダウンロードする。アプリケーションは GPS を用いて登山者の位置を定期的に測位し、登山者が該当地域を通過する際には、ダウンロードしておいた雪崩警戒情報を出力する。

雪崩遭難者検索機能: 雪崩遭難者検索機能は雪崩ビーコンと同様の機能を実現するものである。雪崩警戒／救助支援アプリケーションの雪崩遭難者検索機能は、待機状態、救助待ち状態、救助支援状態の 3 つの状態をとる。

パーティの全員は入山時、自身の所持するスマートフォン上でアプリケーションを起動し、画面を通常画面にする。このときアプリケーションは万が一の雪崩遭難に備えて待機状態となる。この操作は雪崩ビーコンならば電波発信状態に設定することに相当するが、雪崩ビーコンと異なるのは、スマートフォンはこの状態では一切、発信を行わないことである。

雪崩事故が発生した直後、雪崩に巻き込まれた遭難者のスマートフォン上で実行されるアプリケーションは待機状態、通常画面のままであり続ける。一方、雪崩の難を逃れた登山者、すなわち救助者は通常画面で「遭難者を検索する」ボタンを押すことで救助開始操作を行う。この操作によって、救助者のアプリケーションは救助支援状態に遷移し、画面は救助支援画面となり、救助者ビーコン信号の発信を始める。待機状態、通常画面にある遭難者のアプリケーションは、救助者ビーコン信号を受信すると救助待ち状態に遷移し、遭難者ビーコン信号の発信を始めるとともに、アラーム音の吹鳴とバイブレーションを始める。遭難者が心拍数計測機能を有するスマートフォンをつけている場合、遭難者ビーコン信号には遭難者の心拍数情報も載せられる。救助支援状態にある救助者のアプリケーションは、遭難者ビーコン信号を受信し、その受信信号強度から推算される遭難者までのおおよその距離、ならびに遭難者の心拍数情報が遭難者ビーコン信号に含まれている場合はそれも救助支援画面上に表示する。救助者はこの距離と、遭難者のスマートフォンが発するアラーム音とバイブレーションを頼りに遭難者を検索する。また、心拍数情報は救助の順序等の意思決定を行ううえでの参考情報とする。

雪崩遭難者検索機能の振舞いを示す状態遷移図を図 6 に示す。

アラーム音の周波数は、人間の聴覚において最も感度のよい 4000Hz 前後としている。また、積雪中での気導音は反射や吸収によって減衰が大きいことが指摘されている。文献 [15] では足踏みやスキーストックにより雪面を直接振動させて生じる音は 1m 以内の埋没であれば聴取可能であることが示されている。そのことに加えて、登山者が遭難時にヘッドフォンを接続していたりマナーモードにしていたりすることもあり得るため、アラーム音に加えて、バイブレーションも用いるようにしている。

登山者情報の登録／更新／削除: 登山者情報の登録／更



図 2 初期画面



図 3 入山申請画面



図 4 通常画面



図 5 救助支援画面

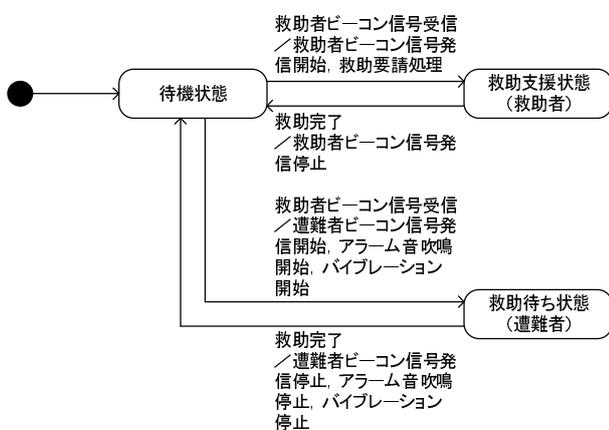


図 6 雪崩遭難者捜索機能の状態遷移図

新／削除機能は、雪崩救助を直接的に支援するものではなく、いわば付加的な機能である。

待機状態にあり、通常画面表示中のアプリケーションは、定期的に登山者の現在位置を GPS で測位し、サーバにアクセス可能な場合は自身の ID、時刻、現在位置をサーバに通知し、データベースに登録されている登山者情報を更新する。登山者は無事下山した際は、アプリケーションの初期画面で「下山報告」ボタンを押すことで下山完了操作を行う。このとき、アプリケーションは自身の ID をサーバに通知し、サーバはデータベースに登録されている登山者情報を削除する。

救助の要請: アプリケーションは、通常画面上で「遭難者を救助する」ボタンが押されて待機状態から救助支援状態に遷移する際、携帯電話網、あるいはインターネットへのアクセスが可能な場合は事前定義されている救助機関への救助要請を行う。救助要請には登山者情報、すなわち自身の情報と現在位置が含まれる。救助要請の手段は、現在の実装では SMS を発信するようにしているが、将来的には音声電話等の他の手段の実装も予定している。

5. 評価

本稿で提案するシステムは、雪崩ビーコンの代替手段として、雪に埋もれている遭難者をなるべく短い時間で発見できるように、救助者を支援することを第一の目的としている。そこで、実際に雪中に埋めた雪崩対策状態にある遭難者のスマートフォンを、救助者のスマートフォンによる雪崩遭難者捜索機能を用いてどの程度の時間で捜索できるか実験的に評価する。他の機能は単なるデータベースへの CRUD 操作に過ぎないため評価を割愛する。

評価の方法: 評価にあたって、30m×16m の雪が積もっている広場に、雪面から 0.5m ほどの深さに、待機状態、通常画面のスマートフォンを埋設する。埋設位置を知らない救助者役の 3 名の被験者 1 名ずつに、雪崩遭難者捜索機能を用いて埋設したスマートフォンを探し出すように依頼し、捜索を開始してから完了するまでにかかる時間を計測する。

評価の結果: 実験は、当時 0.7m ほどの深さの積雪があった、大分県玖珠郡九重町の牧ノ戸峠において 2018 年 2 月 4 日に実施した。当時の実験地の様子を図 7 に示す。3 人が雪中のスマートフォンを捜索するまでに要した時間は、無風時は 74 秒、123 秒、96 秒であり、どの被験者もおおよそ 2 分以内に雪中の遭難者のスマートフォンを見つけ出した。救助者のスマートフォンの救助支援画面には、遭難者のスマートフォンからの電波の強度に基づいた、遭難者までの距離が表示されており、どの救助者役の被験者もこの距離が縮まる方向を探り当て、雪中の遭難者までの距離を縮めていった。遭難者までの距離が 1~1.5m まで縮まると、雪中のスマートフォンからのアラーム音が聞こえ、その結果、どの被験者も 2 分程度で遭難者の位置を割り出すことができた。

一方、強風時に実施した実験では風の音が強く、3 人の被験者がそれぞれ 2 回、計 6 回の捜索を行ったところ、127



図 7 実験地風景（大分県玖珠郡九重町牧ノ戸峠）

秒, 251 秒, 140 秒, 48 秒, 276 秒, 208 秒の時間を要した。スマートフォンが埋まっている場所に近づくのは比較的短い時間でできたが, 埋まっているスマートフォンからのアラーム音が聞きづらく, スマートフォンをピンポイントで掘り当てするのに時間がかかった。実際には埋まっているのはスマートフォンとはちがって, 体積のある人であり, ゴンデ棒等を用いればそれほどの時間を要さずに, 遭難者を掘り出すことは可能であると思われる。

前述の通り, 雪崩遭難者の生存率が急激に下がるのは遭難後 18 分を過ぎてからであり, 雪を掘り返して遭難者を救出する時間を考えても, 今回の実験条件である深さ 0.5m 程度の埋没であれば本システムは十分実用に耐えることは示された。実験において, 電波強度から割り出す距離とアラーム音を併用することの効果は大きかった。但し, 実験当時はバイブレーションが実装されていなかったため, その効果については現時点では評価できていない。

6. まとめ

以上, 本稿では, 登山者に雪崩警戒情報を提供し, また日常使用しているスマートフォンを雪崩ビーコンの代替手段として使用できる, 雪崩警戒/救助支援システムを開発した。当該システムは, 雪崩に関する警戒情報をサーバからダウンロードし, 登山者が雪崩警戒区域を通過する際には注意を促す機能を有する。当該システムの第一の機能は, BLE を基盤とするビーコン技術を用い, 雪崩ビーコンの代替手段として雪に埋もれた雪崩の遭難者を検索する機能である。遭難者のスマートフォンは, 救助者からのスマートフォンから発せられる救助者ビーコン信号に呼応して, 遭難者ビーコン信号を発信するとともに, アラーム音の吹鳴とバイブレーションを始める。救助者は, 遭難者ビーコン信号の受信信号強度から推算される遭難者までの距離とアラーム音, バイブレーションを頼りに, 雪に埋もれている遭難者を捜し出す。また, 本システムには, 入山申請として登山者情報をサーバに登録したり下山報告としてそれを削除する機能, 登山者の位置を定期的にサーバに通知する機能, 検索開始とともに救助要請を出す機能も有する。積雪環境下で行った実験では, 最短で 48 秒, 最長で 276 秒,

平均 150 秒で遭難者を捜し出すことに成功した。

なお, 本稿は文献 [16] の続報であり, 本稿での新規の内容は雪崩警戒区域での注意喚起, アラーム音の検討, 救助待ち時のバイブレーション, 救助要請機能である。

謝辞

本研究の一部は科研費（課題番号: 15H0570S）の助成を受けている。

参考文献

- [1] 北海道雪崩事故防止研究会（編）, 『最新雪崩学入門: 雪山最大の危険から身を守るために』, 山と溪谷社, 1996 年.
- [2] 有限会社センテンス, 「雪崩発生件数」, <http://sentence.co.jp>, 2017 年 3 月 28 日. (最終アクセス日: 2018 年 5 月 14 日)
- [3] 出川 あずさ, 「山岳レクリエーションでの雪崩死亡事故の特徴 (1990/91-2012/13)」, 2013 年度日本雪氷学会北信越支部大会予稿集, 2013 年 5 月.
- [4] 山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための周波数有効利用技術に関する調査検討会, 「山岳・雪崩等遭難者電波探索システムのための周波数有効利用技術に関する調査検討報告書」, http://www.soumu.go.jp/main_content/000477152.pdf, 2017 年 3 月. (最終アクセス日: 2018 年 5 月 14 日)
- [5] 高橋 喜平, 『日本の雪崩: 雪崩学へのみち』, 講談社, 1980 年.
- [6] D. M. McClung and P. A. Schaerer, *The Avalanche Handbook*, 3rd ed., The Mountaineers, 2006.
- [7] H. Brugger, B. Durrer, F. Elsensohn, P. Paal, G. Strappazon, E. Winterberger, K. Zafren, and J. Boyd, “Resuscitation of Avalanche Victims: Evidence-Based Guidelines of the International Commission for Mountain Emergency Medicine (ICAR MEDCOM) Intended for Physicians and Other Advanced Life Support Personnel,” *Resuscitation*, Vol. 84, No. 5, pp. 539–546, May 2013.
- [8] 日本雪崩ネットワーク, 「ロープの向こう側」, <https://www.nadare.jp/basic/safety-measure/>. (最終アクセス日: 2018 年 5 月 14 日)
- [9] 山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会総務省北陸総合通信局, 「山岳遭難者探索用ビーコンシステムの高度化に関する検討会報告書」, <http://www.soumu.go.jp/soutsu/hokuriku/research/houkoku.pdf>, 2005 年 3 月. (最終アクセス日: 2018 年 5 月 14 日)
- [10] 藤井 輝也, 表 英毅, 太田 喜元, 米田 進, 「携帯・スマホ等を活用した遭難者の位置特定」, 信学誌, Vol. 101, No. 2, pp. 191–197, 2018 年 2 月.
- [11] Bluetooth SIG, <https://www.bluetooth.com/ja-jp>. (最終アクセス日: 2018 年 5 月 14 日)
- [12] 市川 博康, 竹田 寛郁, 『統計・防災・位置情報がひと目でわかるビーコンアプリの作り方』, 技術評論社, 2016 年.
- [13] AltBeacon, <http://altbeacon.org/>. (最終アクセス日: 2018 年 5 月 14 日)
- [14] 山口 芳雄, 「こちら波動情報研究室 (第 1 回): 雪の性質と電波伝搬」, 季刊情報誌 SAWS, pp. 2–5, 菊水電子工業, 2001 年 7 月.
- [15] 榊原 健一, 牧 勝弘, 山川 仁子, 天野 成昭, 「雪中への音の伝搬特性」, 北海道の雪氷, No. 33, pp. 125–129, 2014 年 9 月.
- [16] 庄島 優矢, 古庄 裕貴, 中西 恒夫, 「スマートフォンによる雪崩救助支援システムの開発」, 情処研報, Vol. 2018-EMB-47, No. 9, 6 pages, 2018 年 2 月.