

修士論文 2012年度 (平成 24年度)

NFCを利用した登山者間DTNの構築

慶應義塾大学大学院 政策メディア研究科

三部 剛義

NFC を利用した登山者間 DTN の構築

本研究では、山岳地帯における遭難者捜索を補助するシステムを実現する。

近年、GPS を搭載した携帯電話が普及してきたことを背景に、個人が自分のリアルタイムな現在地や状況を公開することが容易になった。しかし、山岳地帯における遭難者探索に適した手法であるとは言えない。山岳地帯は市街地と比較して携帯電話による通信環境が不安定であり、携帯電話で取得した現在地を捜索隊や家族に伝達することが困難だからである。

携帯電話が登場する以前から、登山口や山頂に自分の氏名と連絡先を記入する帳簿を設置し、捜索隊が遭難者の位置範囲を推定する手法が行われてきた。インターネットで情報公開することが容易となった現在では、あらかじめ登山計画書を提出し、予定時刻を過ぎても下山しない場合に、捜索隊に救助依頼を出すオンラインサービスも既に存在する。さらに登山者にあらかじめビーコン装置を持たせ、遭難した際にその電波をヘリコプターから探索するシステムもある。これらの既存手法は共通して登山者の現在地に関する精度と運用する際の金銭や手間コストが比例しており、安価なシステムは山の内外しか把握できず、高精度なシステムは高価な装置を登山者や救助隊に要求する。

本研究では、同じ山にいる登山者間で情報ネットワークを構築するシステムを提案する。この情報ネットワークは、登山者が持つ携帯電話と山に設置した近距離無線通信 (NFC: Near field communication) タグを組み合わせることによって、遅延・分断耐性ネットワーク (DTN: Delay- and Disruption- Tolerant Networking) として構築される。NFC タグはカードやシールの形状で販売されており、1 個 300 円程度と非常に安価である。本研究では Android アプリケーションとして本システムを実装し、動作検証を行った。また、システム構築に必要な費用や手間を既存手法と比較検証した。その結果、本手法が既存の手法と比較してより安価に精度を上げられることが明らかになった。

キーワード:

1. 登山, 2. 携帯電話, 3. DTN, 4. NFC

慶應義塾大学大学院 政策メディア研究科

三部 剛義

Building DTN for Climbers by using NFC

This thesis describes a system which helps find missing people in the mountains.

Recently, mobile phones which have GPS make it easy to publish where the user is in real-time. Unfortunately this approach is not applicable to the problem of finding missing people in the mountains. In contrast to life in the city, mountains make it difficult to have a rich experience on mobile phones using apps such as contacting families and rescuers.

Before the spread of mobile phones, climbers used notebooks at trail entrance or at the tops of mountains to fill in their names and contact information. These notebooks help rescuers to determine where the missing person is. Also, there are services on the Internet which notify rescuers when a user is late after the estimated time of descent. One service uses emergency beacons to track climbers from a helicopter. In these methods, accuracy of where the person is commensurate with costs. A cheap system only knows whether the person is in the mountains or not. An expensive system requires climbers and rescuers to invest in expensive machines.

In this research, we propose a system which makes a network between climbers. This system makes a DTN (Delay and Disruption Tolerant Network) which is constructed with NFC (Near Field Communication) Tag and mobile phones. NFC tags are sold in cards they are as cheap as 300 yen. In this research, we made an Android application and verified the functionality of this system. Also, we compare the costs of this system and existing systems. We discovered that this system is cheaper and more accurate than existing systems.

Keywords :

1. Climbing , 2. Mobile phone , 3. DTN , 4. NFC

Keio University Graduate School of Media and Governance

Takayoshi Mibe

目次

| | |
|----------------------------------------|-----------|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1.1 はじめに | 1 |
| 1.2 本論文の構成 | 2 |
| 第2章 背景と問題点 | 3 |
| 2.1 山岳遭難の現状と本研究の目的 | 3 |
| 2.2 携帯電話内蔵のGPSによる位置測定技術 | 4 |
| 2.3 山岳地帯特有の問題点 | 4 |
| 2.3.1 不安定な通信環境 | 4 |
| 2.3.2 サービス運用時に発生するコスト | 4 |
| 2.4 遭難者を検索する既存手法 | 5 |
| 2.4.1 記帳簿を用いた検索範囲の限定 | 5 |
| 2.4.2 メールによる入山及び下山の管理 | 5 |
| 2.4.3 ビーコン電波を用いた遭難者探索 | 6 |
| 2.5 運用コストから非現実的と判断した手法 | 6 |
| 2.5.1 チェックポイント装置を用いた検索範囲の限定 | 7 |
| 2.5.2 人感センサを用いた遭難者探索 | 8 |
| 2.6 本研究における要件 | 8 |
| 2.6.1 登山者が所持する通信機器に関する要件 | 8 |
| 2.6.2 山岳地帯に設置するハードウェアに関する要件 | 8 |
| 2.6.3 遭難者を探索する精度に関する要件 | 9 |
| 2.6.4 即時性に関する要件 | 9 |
| 第3章 提案 | 10 |
| 3.1 関連技術: 遅延・分断体制ネットワーク | 10 |
| 3.2 携帯電話が持つ通信手段の比較 | 11 |
| 3.2.1 Wi-FiやBluetoothを利用した場合 | 12 |
| 3.2.2 IrDAを利用する場合 | 12 |
| 3.2.3 NFCを利用する場合 | 12 |
| 3.3 NFCを利用した通過記録の収集 | 13 |

| | | |
|--------------|----------------------------------------|-----------|
| 3.4 | NFC を利用した既存事例 | 14 |
| 3.4.1 | NFC QUEST | 14 |
| 3.4.2 | NFC Time Card | 14 |
| 3.5 | NFC タグを利用した情報伝達のモデル | 14 |
| 3.5.1 | サブゲート装置に対する通過記録の登録 | 15 |
| 3.5.2 | ゲートを利用した通過記録の送信 | 17 |
| 3.5.3 | 本手法の利点と欠点 | 19 |
| 3.6 | 情報伝達経路の冗長性と遅延 | 20 |
| 3.7 | 登山者同士のすれ違いによるネットワークの構築 | 20 |
| 第 4 章 | 設計 | 22 |
| 4.1 | システムの全体モデル | 22 |
| 4.2 | 管理サーバの設計 | 23 |
| 4.3 | 登山者を識別する情報 | 25 |
| 4.4 | ゲート装置の設計 | 26 |
| 4.4.1 | 携帯電話用アプリケーションの設計 | 27 |
| 4.5 | サブゲート装置の設計 | 27 |
| 第 5 章 | 実装 | 29 |
| 5.1 | Android 端末で NFC 通信を行う際の技術的現状 | 29 |
| 5.2 | 管理サーバ | 30 |
| 5.3 | ゲート装置 | 31 |
| 5.4 | 携帯電話用アプリケーション | 32 |
| 第 6 章 | 評価 | 33 |
| 6.1 | 簡易モデル下での実機テスト | 33 |
| 6.2 | サービス運用コストの比較 | 36 |
| 6.3 | エラー率の数式化 | 37 |
| 第 7 章 | 結論 | 38 |
| 7.1 | 本論文のまとめ | 38 |
| 7.2 | 今後の課題 | 39 |
| 7.2.1 | 集計データを基にした登山者 SNS の構築 | 39 |

| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 7.2.2 | より複雑な登山ルートでの動作検証 | 39 |
| | 謝辞 | 40 |

目 次

| | | |
|-----|------------------------------------|----|
| 2.1 | 登山道にチェックポイントを配置した解決モデル | 7 |
| 3.1 | 登山者からインターネットへの情報伝達 | 10 |
| 3.2 | カード型の NFC タグ | 13 |
| 3.3 | NFC タグを利用した情報伝達モデル 初期配置 | 15 |
| 3.4 | サブゲート通過時に発生する通過記録の登録 | 16 |
| 3.5 | 他人を利用した通過記録の複製 | 17 |
| 3.6 | ゲート通過時に発生する通過記録の送信 | 18 |
| 3.7 | 複製された他人の通過記録の送信 | 19 |
| 3.8 | 情報伝達経路が持つ冗長性と遅延 | 20 |
| 4.1 | 通過記録を基準としたシステムのモデル | 22 |
| 4.2 | 登山道を基準としたシステムのモデル | 23 |
| 4.3 | 本システム的设计モデル | 24 |
| 4.4 | jpg 貼り付けサンプル | 26 |
| 5.1 | XMPP サーバとして使用した Mac Mini | 31 |
| 5.2 | 管理サーバとして使用した Xserve | 31 |
| 5.3 | Nexus 7 の NFC 通信モジュール | 31 |
| 6.1 | 実装物の動作検証モデル | 33 |

表 目 次

| | | |
|-----|--------------------------------------|----|
| 2.1 | 平成 23 年度の山岳遭難の発生状況 | 3 |
| 2.2 | 既存手法の比較 | 5 |
| 2.3 | 運用コストから非現実的と判断した手法 | 6 |
| 3.1 | 携帯電話が持つ通信手段の比較 | 12 |
| 3.2 | 登山者 α から送信される通過記録 | 18 |
| 3.3 | 登山者 β から送信される通過記録 | 18 |
| 4.1 | 登山者 α が下山時に送信した通過記録 | 25 |
| 5.1 | 実装環境 | 29 |
| 6.1 | 管理サーバに蓄積された通過記録 | 34 |
| 6.2 | 生成した登山者別に並び替えた通過記録 | 35 |
| 6.3 | 既存手法の比較 | 36 |

第1章 序論

1.1 はじめに

本研究では、レジャー目的での登山を主なターゲットとして、登山者がいつどこを通過したかといった記録（以下、**通過記録**）を電子化して Web 上に公開することを提案する。集計された記録は、遭難救助の際に検索範囲を特定したり、下山後に登山者自身が登山のペースを把握することに利用できる。

近年、山岳遭難の件数は増加傾向にある。警視庁が発表 [1] によると、平成 23 年度には山岳遭難が 1830 件発生し、275 人と死者と 819 人の負傷者が出たとされている。この数値は、平成 22 年度に次ぐ過去 2 位の数値を示しており、ここ 10 年ほどの間に 35 % ほど増加している。また、その半分以上が 60 歳以上の高齢者であり [1]、主な理由としては高齢者の登山ブーム [2] や体力の衰えが考えられる。

携帯電話にも多く搭載されるようになった GPS を用いることで、登山者自身が現在地を把握することは容易になった。しかし、山岳地帯は市街地に比べて携帯電話による広域無線通信が行いにくく、遭難者が現在地や遭難したという状況を、救助隊や家族などの他者に伝達しにくいという問題点がある。

そのため、登山前に計画書を提出する様に呼びかけたり [1]、入山と下山を把握する Web サービス [3] を用意する等といった対策が実際に行われている。これらの手段を利用することにより、予定時刻に下山していない登山者が遭難したかどうかを把握できる。さらに、遭難した際の救助手法も多く模索されており、登山者に携帯させたビーコン電波発信機の電波をヘリコプターから探知して遭難者の捜索に役立てる技術 [4] などがある。

これらの手法は共通して、登山者の現在地をより詳細に把握しようとするほど、システムの展開や運用時に掛かる金銭および技術面でのコストが増えるという傾向がある。本研究では同じ山にいる登山者間での情報伝達ネットワークを構築することにより、より低コストな登山者の現在地を推定するサービスの提案を目指す。

1.2 本論文の構成

本論文は全 7 章で構成される。第 2 章では、まず山岳地帯における遭難救助が抱える問題点を述べ、既存手法について整理を行い、本研究が解決すべき問題点を明らかにする。第 3 章では、本研究の提案手法である登山者間での情報ネットワークについて述べる。第 4 章では本研究の提案する手法を実現するアプリケーション群の設計を行う。第 5 章では設計に従って実装したアプリケーション群の詳細について述べる。第 6 章では本研究で提案した手法の評価を行う。第 7 章では結論と今後の課題をまとめる。

第2章 背景と問題点

本章ではまず，本研究の背景となる山岳遭難の現状と携帯電話内蔵の GPS による位置測定技術について述べる．さらに山岳地帯特有の問題点を挙げ既存の解決手法を述べるた上で，本研究の要件を定める．

2.1 山岳遭難の現状と本研究の目的

本節では，本研究の背景となる日本国内での山岳遭難の現状について述べる．近年，山岳遭難の件数は増加傾向にあり，その半分以上が 60 歳以上の高齢者である [1][2]．

表 2.1: 平成 23 年度の山岳遭難の発生状況

| | 件数, 人数 | 前年比 | 平成 14 年との比較 |
|-----------|---------|--------|-----------------|
| 発生件数 | 1,830 件 | -112 件 | +482 件 (+35.8%) |
| 遭難者数 | 2,204 人 | -192 人 | +573 人 (+35.1%) |
| ┃死者・行方不明者 | 275 人 | -19 人 | |
| ┃負傷者 | 819 人 | -13 人 | |
| ┃無事救助 | 1,110 人 | -160 人 | |

表 2.1 は警視庁が発表した平成 23 年度の全国の山岳遭難データのうち，遭難の発生及び死者・行方不明者をまとめたものである．23 年は 22 年に次いで過去 2 番目に高い数値を示し，過去 10 年間の発生状況もまた増加傾向にあると言える．そのため未然防止対策として，登山者自身の身体能力や経験に合わせて山およびコース・時期を選択することや，登山前に下山予定時刻などを記した計画書を提出する様に呼びかけている [1]．

本研究では，山岳遭難者を救助する作業を補助する手法を検討する．提案した手法を用いてより早く救助を実現しやすくすることで，死者および負傷者を今以上に減らすことを最終的な目標とする．

2.2 携帯電話内蔵の GPS による位置測定技術

本節では、本研究の背景となる携帯電話内蔵の GPS による位置測定の現状について述べる。近年の携帯電話が発達してきたと言える要素の 1 つに、GPS による位置測定能力がある。測定した位置情報は、撮影した写真に関連付けたり移動のナビゲーションに利用される。

本研究で注目したのは、この GPS による位置測定を携帯電話が持つ広域無線通信機能と連携させることによって、自己の現在地や移動記録を他人に公開できる点である。この機能を応用すると、複数人が町中で互いを見つめることが容易になったり、通学中の子供の現在地を自宅から親が把握できるようになる。

2.3 山岳地帯特有の問題点

本節では、2.1 節で述べた山岳遭難という状況において、2.2 節で述べた位置情報の発信を行おうとした際に発生する問題点について述べる。

2.3.1 不安定な通信環境

山岳地帯では、携帯電話を用いた広域無線通信を市街地よりも行いにくいという問題がある。国内のキャリア各社はレジャー目的で山岳地帯での環境改善に取り組んでいるが、通信の際に通常以上の電力が要求される点や、充電の手段が限られる部分は改善されていない。

登山を指導する書籍や Web サイトの一部には、登山中は携帯電話の電源を切ったり、通信が出来ない機内モードに設定することを推奨しているものもある。これは、遭難時に連絡を試みる際により多くの電力を残す為である。

2.3.2 サービス運用時に発生するコスト

山岳地帯では、市街地と比較してインフラや装置を設置しにくいという問題点がある。仮に山岳地帯全域に人感センサや監視カメラを設置すれば、遭難者の捜索は非常に容易なものとなる。しかし、広大な山岳地帯を埋め尽くすには大量の装置を必要とし、電源供給や通信インフラも必須な点から、現実的な対策とは言い難い。また、屋外という事もあり天災や鳥獣に破壊されることもあり、破損する度に装置を修理あるいは置き換える必要がある。

2.4 遭難者を検索する既存手法

本節では、山岳遭難の対策としてすでに行われている手法について述べる。表 2.2 は、既存の手法を並べて比較したものである。

表 2.2: 既存手法の比較

| 手法 | 煩雑さ | 精度 | 登山者の 識別 | 即時性 | 運用 コスト |
|-----------------|-----|----|------------|-----|-----------|
| 記帳簿を用いた搜索範囲の限定 | 大 | 低 | 可 | 無 | 極小 |
| メールによる入山及び下山の管理 | 中 | 低 | 可 | 無 | 小 |
| ビーコン電波を用いた遭難者探索 | 小 | 高 | 可 | 有 | 中 |

表 2.2 内の各項目について述べる。煩雑さとは、その手法に登山者に対して要求される作業の煩雑さを示す。精度とは、登山者の現在地を把握する際の精度を示し、高いほど遭難者がいるであろう範囲を狭くすることができる。登山者の識別とは、その手法が登山者を識別できるかを示す。即時性とは、各手法が遭難者がその瞬間にいる場所を把握できるかを示す。運用コストとは、手法を実現する為に必要な金額を示す。次に各手法の内容と、表 2.2 で示した評価結果に対する根拠を述べる。

2.4.1 記帳簿を用いた搜索範囲の限定

登山口や山頂に記帳簿と呼ばれる冊子を設置し、登山者が通過する際に自分の名前や連絡先を記入することで、遭難した際の搜索範囲を限定する手法である。インターネットやコンピュータが発達する以前から用いられている手法で、例えば富士山の山頂には 50 年以上続いている記帳簿 [5] がある。長所は、冊子とそれを置く場所さえあれば十分という運用コストの低さである。しかし、短所として山頂を通過したか否か程度の精度の低い情報しか得られない点と、リアルタイムな現在地を把握できない点、登山者が記入する必要がある点の 3 つがある。

2.4.2 メールによる入山及び下山の管理

本節では、ヤマトモ [3] が提供している「安全登山サポートシステム」について述べる。この手法は、2.1 節で述べた登山計画書を提出するという遭難未然防止策の発展系である。登山者は事前に登山計画書を作成し、ヤマトモに提出する。さらに入山前にメールを送信することで、自身の状態を入山中に変更する。ヤマトモは、計画書にある下山予定時刻までに下山を報告するメールが来なかった場合、救助隊や登山者の家族に連絡する。

この手法の長所は 3 つある。1 つ目は、登山者が下山したかを第三者が常に監視している点である。2 つ目は、山岳地帯に設備を設置しない為に運用コストが低い点である。3 つ目は、登山者に求める作業が入山と下山を報告するメールを送信するだけと、2.4.1 項で述べた記帳簿に記入する作業より簡単な点である。

この手法の短所は探索する精度の粗さである。このサービスを利用しただけでは、予定下山時刻までに下山したか否かしかわからず、搜索を補助するとは言い難い。メールを登山中に送信することで遭難した際の搜索範囲を特定できるが、2.3.1 項で述べたように登山中に携帯電話で通信を行うのは逆に遭難時のリスクを増大させると言える。

2.4.3 ビーコン電波を用いた遭難者探索

主に雪崩が発生しやすい雪山で、雪中にいる登山者を搜索する為に用いられる手法である。登山者が個別にビーコンを所持する必要があるが、現在市販されているビーコンの探知距離は 90 メートル程度とされている。遭難救助隊が搜索する為というよりも、雪崩にあった際に登山チーム同士で雪に埋まった者を探すことを想定している。

この手法の長所は遭難者の現在地を高い精度でかつリアルタイムな現在地を把握できる点である。短所はビーコンや電波探知機といった高価なハードウェアを要求する点である。

また、富山県立大学の岡田敏美氏を中心としてさらに遠いヘリコプター高度からビーコン電波の発信源を探索する手法が研究されている [4]。

2.5 運用コストから非現実的と判断した手法

本節では、運用コストの観点から非現実的と判断した手法について述べる。表 2.3 は、運用コストの観点から非現実的な手法を比較したものである。

表 2.3: 運用コストから非現実的と判断した手法

| 手法 | 煩雑さ | 精度 | 登山者の 識別 | 即時性 | 運用 コスト |
|---------------------------|-----|-----|------------|-----|-----------|
| チェックポイント装置を用いた 搜索範囲の限定 | 小～大 | 小～大 | 可 | 無 | 大 |
| 人感センサを用いた遭難者探索 | 無 | 高 | 不可 | 有 | 大 |

表 2.3 内の各項目について述べる。煩雑さとは、その手法に登山者に対して要求される作業の煩雑さを示す。精度とは、登山者の現在地を把握する際の精度を示し、高いほど

遭難者がいるであろう範囲を狭くすることができる。登山者の識別とは、その手法が登山者を識別できるかを示す。即時性とは、各手法が遭難者がその瞬間にいる場所を把握できるかを示す。運用コストとは、手法を実現する為に必要な金額を示す。次に各手法の内容と、表 2.3 で示した評価結果に対する根拠を述べる。

2.5.1 チェックポイント装置を用いた搜索範囲の限定

本項では 2.3.2 項で述べた運用コストの観点から非現実的であると判断した手法の一例として、登山道にチェックポイント装置を設置することによる解決手法について述べる。

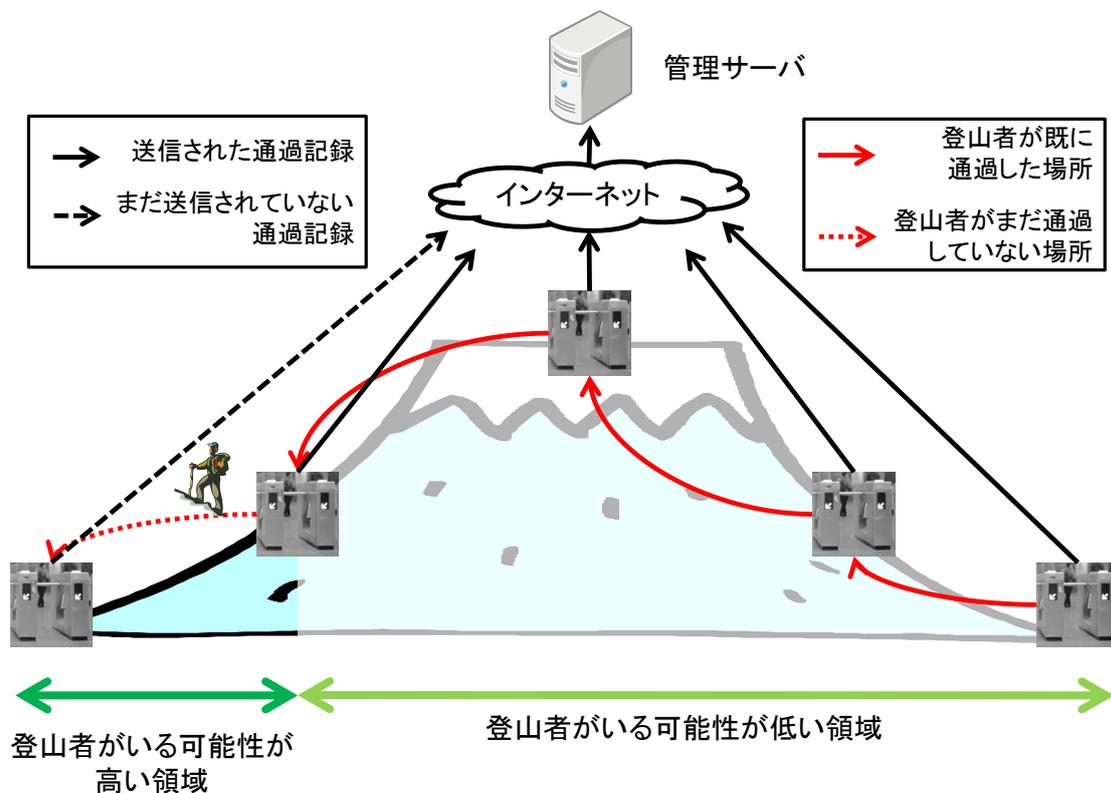


図 2.1: 登山道にチェックポイントを配置した解決モデル

本項で述べる手法のモデルを、図 2.1 に示す。この手法は登山道の各所にチェックポイントを設置し、登山者がその場所を通過した際の記録を、チェックポイントからインターネット上の集計サーバに送信する。図 2.1 の例では、チェックポイントを五か所に配置し、ある登山者がそのうち 4 つを通過した場合を示している。集計サーバに蓄積された情報をもとに登山者の現在地を範囲的に限定することで、遭難した際の搜索を補助する。

この手法の長所は、登山前にあらかじめ行う作業が特に無いことである。2.4.2 項で挙げたメールによる入山及び下山を管理する手法のように、事前に下山予定時刻が告知さ

れていなかったとしても、ある区間に長時間いる事から遭難の疑いを持つことができる。山頂など区間によっては食事や休憩または写真撮影といった遭難以外の移動しないケースも考えられるが、登山道の特に危険な位置の両端にチェックポイントを配置すれば事故の発生を監視できる。

しかしこの手法は、登山道に通信と電源のインフラを要求する為、運用コストが非常に大きくなるので実現性が低いと本研究では判断した。

2.5.2 人感センサを用いた遭難者探索

本項では 2.3.2 項で述べた運用コストの観点から非現実的であると判断した手法の一例として、山岳地帯全域に人感センサを設置することによる解決手法について述べる。2.5.1 項で述べたチェックポイントの代わりに人感センサを配置し、付近を通過した時刻などを集計サーバに送信することで遭難者の探索を補助する。

2.5.1 項で述べた手法と比較すると、登山者に作業を要求しない長所の代わりに、登山者を識別できないという短所がある。この手法もまた、登山道に通信と電源のインフラを要求する為、運用コストが非常に大きくなるので実現性が低いと判断した。

2.6 本研究における要件

本項では、本研究の要件について述べる。2.3 節で述べた山岳特有の問題点と 2.4 節で述べた既存手法を踏まえて本研究の要件を提示した。各要件について以下に述べる。

2.6.1 登山者が所持する通信機器に関する要件

本研究は 1.1 節で述べたように、レジャー目的の登山を対象としている。熟練者が登山を行う場合、GPS 専用機や 2.4.3 項で挙げたビーコン装置を用意することが多いが、初心者が持っている通信機器は携帯電話のみと想定するべきである。なお、近年では通信機能を持ったデジタルカメラ等も販売されているが、カメラ機能を持った携帯電話と同様のものとして扱う。また 2.3.1 項で述べたように登山中に携帯電話を充電する手段は限られているので、本研究で提案する手法は電力消費量を度外視したものであってはならない。

2.6.2 山岳地帯に設置するハードウェアに関する要件

2.3.2 項で述べたように、センサ類や電力や通信のインフラを山岳地帯に展開するのは市街地での場合よりも金銭や手間といったコストが多く発生する。そのため、インフラを

必要とする装置は登山口など市街地により近い条件で設置できる場所にのみ設置し，登山道や頂上にはインフラ無しで運用できる装置のみを設置する．また，とくに登山道や山頂では天災や鳥獣に破壊されることもあり，設置するハードウェアは取り替えやすい安価なものが求められる．

2.6.3 遭難者を探索する精度に関する要件

2.4 節で述べたように，既存手法は運用コストと精度が比例する傾向にある．しかし，現状の手法だけでは選択肢として両極端だと言える．本研究では，提案した機構の中で運用コストと精度を段階的に調整できることを要求する．

2.6.4 即時性に関する要件

本研究では，遭難者のいる範囲を特定できる程度の即時性のみを要求する．2.4 節で述べた既存手法のうち，遭難者の現在地をリアルタイムに把握できる手法はどれも運用コストが高く，多くの登山道に常時展開するには不適切であると判断した．

第3章 提案

本章では，2章で述べた問題点を解決するための提案を述べる．まず，2.3.1項で述べた通信環境と類似した状況を想定したネットワーク技術である，遅延・分断耐性ネットワーク (DTN: Delay- and Disruption- Tolerant Networking) の技術概要と，本研究が挙げた問題点との類似点および相違点について述べる．次に，現在の携帯電話が持つ各通信機能について比較する．最後に，本研究で登山者からインターネットへの一方向な情報伝達経路を構築する手法について述べる．

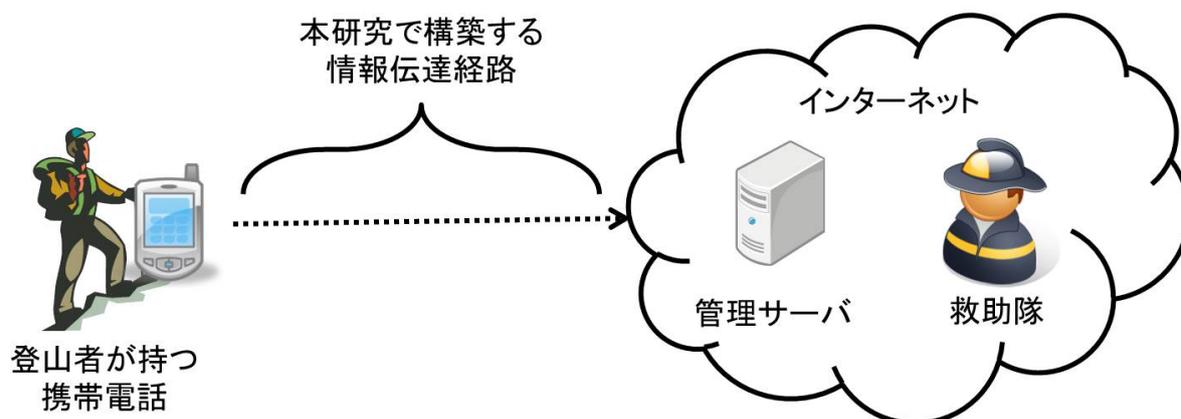


図 3.1: 登山者からインターネットへの情報伝達

図 3.1 は本研究で実現すべき情報ネットワークのモデルを示している．本研究では，救助隊は宿舎の設備や専用の無線通信機を利用したインターネットとの接続性を持っていると想定する．よって，携帯電話からインターネットへの伝達経路を構築することは，救助隊への連絡手段を得る事と同義である．しかし，2.3節で述べたように携帯電話で行う従来の広域無線通信は通信環境の不安定さから不適切であり，他の手段を提供する必要がある．

3.1 関連技術：遅延・分断体制ネットワーク

本節では，2.3.1節で挙げた問題点と類似した状況を想定したネットワーク技術である遅延・分断耐性ネットワーク (DTN: Delay- and Disruption- Tolerant Networking) につ

いて述べる.

DTNは、遅延や分断が頻発するような通信環境において情報伝達を行うための手法である。DTNが解決すべきと設定されている4つの問題点[6][7]と、本研究で挙げた問題点の比較を以下に示す.

断続的な接続性

通信経路となる各ノード間の接続性が不安定な為、ネットワークとして成立しない問題を示している。本研究においても、登山者の携帯電話からの情報発信が不安定であるという点で共通する.

大きな遅延および遅延の揺らぎ

通信が失敗した際の再送処理や、経路の長さによって遅延が発生する問題を示している。本研究においても、2.4節で挙げた即時性の無い手法はこの問題点を抱えている.

非対称な転送速度

送受信の速度を比較した際に大きな差があり、一方的な情報伝達しかできない問題を示している。本研究では、登山者からインターネットへの情報伝達のみが行えれば十分としているので、この問題点は解決すべき対象ではない.

高いエラー発生率

経路上に無線通信を行うノードがある等の原因により、エンドノード間で通信の成否を保証しにくいという問題を示している。本研究でも、登山者が持つ携帯電話からの情報伝達は失敗しやすいとしている.

3.2 携帯電話が持つ通信手段の比較

本研究では、2.6.1項で述べたように登山者が持つ通信機器は携帯電話のみと想定している。現在の携帯電話は3Gなどの広域無線通信以外にも、Wi-FiやBluetoothなどの多様な通信手段を持つ.

表3.1は各通信手段を比較しまとめたものである。本研究では、携帯電話からインターネットへ発信する情報は、個人を識別するものや位置を示すもの程度しか想定していない。よって、伝達すべきデータ量は少ないかつ一定量であると判断し、通信速度に関しては比較の対象外とした。本節ではそれらの通信手段を比較し、各手法を本研究の解決案として利用した場合を想定したモデルについて述べる.

表 3.1: 携帯電話が持つ通信手段の比較

| | 伝達距離 | 消費電力 | 通信の自動化 |
|-----------|---------|------|--------|
| 3G | 数キロメートル | 大 | 可 |
| Wi-Fi | 数十メートル | 中 | 可 |
| Bluetooth | 数十メートル | 中 | 可 |
| IrDA | 1メートル未満 | 小 | 不可 |
| NFC | 1メートル未満 | 小 | 不可 |

3.2.1 Wi-Fi や Bluetooth を利用した場合

Wi-Fi もしくは Bluetooth を用いて解決する場合の想定モデルについて述べる。山道中に同じ通信規格で通信できる装置を複数配置し、それらすべてに有線接続での電源および通信インフラを用意する。設置したこれらの装置は、常に登山者が持つ携帯電話が通信可能な範囲にいないかを探索し、発見した場合は MAC アドレス等の一意に識別できる情報を取得して集計サーバに報告する。

この手法は 2 つの欠陥を持つ。1 つ目は登山者が対象の通信機能を常に有効にして登山する必要がある点である。2.3.1 項で述べたように、携帯電話の電力は極力使用しないべきである。2 つ目は運用コストに関する問題である。2.3.2 項で述べたように、通信機能を持った機材やインフラに多くの金銭や手間といったコストが発生する。

3.2.2 IrDA を利用する場合

IrDA [8] は Infrared Data Association が規格化した、赤外線を用いた通信方式である。Wi-Fi や Bluetooth と同様に登山道に機材を設置する点までは同様だが、通信する為に携帯電話と設置した機材の IrDA モジュールを互いに向き合わせる必要がある。登山者が意識して作業を行う必要があるというのは欠点であるが、使わないときに電源を使用しないことができるのは消費電力の観点から長所と言える。しかし、機材やインフラに多くの金銭や手間といったコストが発生する点は変わらず、2.6.2 項で挙げた要件を満たしていない。

3.2.3 NFC を利用する場合

NFC とはソニー [9] と NXP Semiconductors[10] によって開発された無線通信技術である。NFC は国内の IC カードに用いられる FeliCa[11] などの無線通信技術を、下位規格として持てるような互換性を持っている。

NFCが他の通信手段と異なるのは、NFCタグと呼ばれるカードやシールの形状をした電源を持たないハードウェアとの通信が可能な点である。NFCリーダ/ライタからNFCタグに対して誘導電力による給電を行い、タグ内の記憶領域を操作することによって読み書きを可能にしている。図3.2はカード型のNFCタグを撮影したものである。



図 3.2: カード型の NFC タグ

NFCタグは電源を持たない為に自力のみで通信することが不可能だが、設置する際に電源も通信のインフラも必要としない。また、ハードウェアとしての価格も非常に安く、1つ300円未満で市販されている。そのため、登山道に設置する装置としてはもっとも運用コストが低いと言える。

3.3 NFC を利用した通過記録の収集

本研究で提案するシステムは、登山者が持つ携帯電話が行う無線通信の手段としてNFCを採用する。本節では、この結論に至った2つの根拠について述べる。

1つ目は、携帯電話に要求する電力の少なさである。当然、通信するデータ量によって変化するが、短距離でしか通信できないエネルギー量の電波しか出力しないので、一定データ量あたりの消費電力量は3GやWi-Fiに比べて極めて小さい。

2つ目は、NFCタグの存在である。内部に電源を持たず、外部からの誘導電力によって動作するNFCタグは、登山道に設置するハードウェアとして最適であると判断した。電源を供給するインフラが不要だけでなく、ハードウェアの単価が非常に安いことや、機構が単純で扱いやすい点もNFCタグの強みである。

3.4 NFCを利用した既存事例

本節では、3.2.3項で述べたNFCを利用して人がその場所にいたことを証明する既存事例を2つ挙げる。

3.4.1 NFC QUEST

NFC QUEST [12]は、ブリリアントサービス [13]が開発したスタンプラリーをRPGゲームの攻略を目的に進めていくユーザ参加型イベントゲームである。イベント会場などで展開し、参加者同士のコミュニケーションやチェックポイントを設置することによる人口密度のコントロールなどに用いられる。この時のチェックポイント通過の際に、設置した装置と参加者の持つ携帯電話の間でNFCによる通信を行っている。

3.4.2 NFC Time Card

NFC Time Card [14]は、FIXA [15]が開発した企業の勤怠管理システムである。従来はタイムカードで行っていた出社などのイベントをNFCでの通信により実現する。通信するのは設置したAndroidスマートフォンと社員証であり、タイムカードを管理する専用のハードウェアを購入するコストを削減できる。

3.5 NFCタグを利用した情報伝達のモデル

本節では、3.2.3項で述べたNFCタグを利用した情報伝達のモデルについて述べる。

図3.3は、NFCタグを利用して情報伝達をするモデルの登場人物を示す図である。本モデルでは、ある山を2人の登山者が個別に頂上に向かって移動している状況を示している。登山道には、ゲートもしくはサブゲートと呼ばれる装置が設置してある。それぞれの装置の特徴を以下に示す。

- ゲート
 - NFCリーダー/ライターとして機能する
 - 電源のインターネットへの接続性が要求される
 - 運用コストの面から、登山道に設置する数は少ないほうが好ましい
- サブゲート
 - NFCタグとして機能する
 - 電源を必要とせず、インターネットへの接続性も持たない
 - ハードウェア単価が安いので、登山道に大量に設置できる

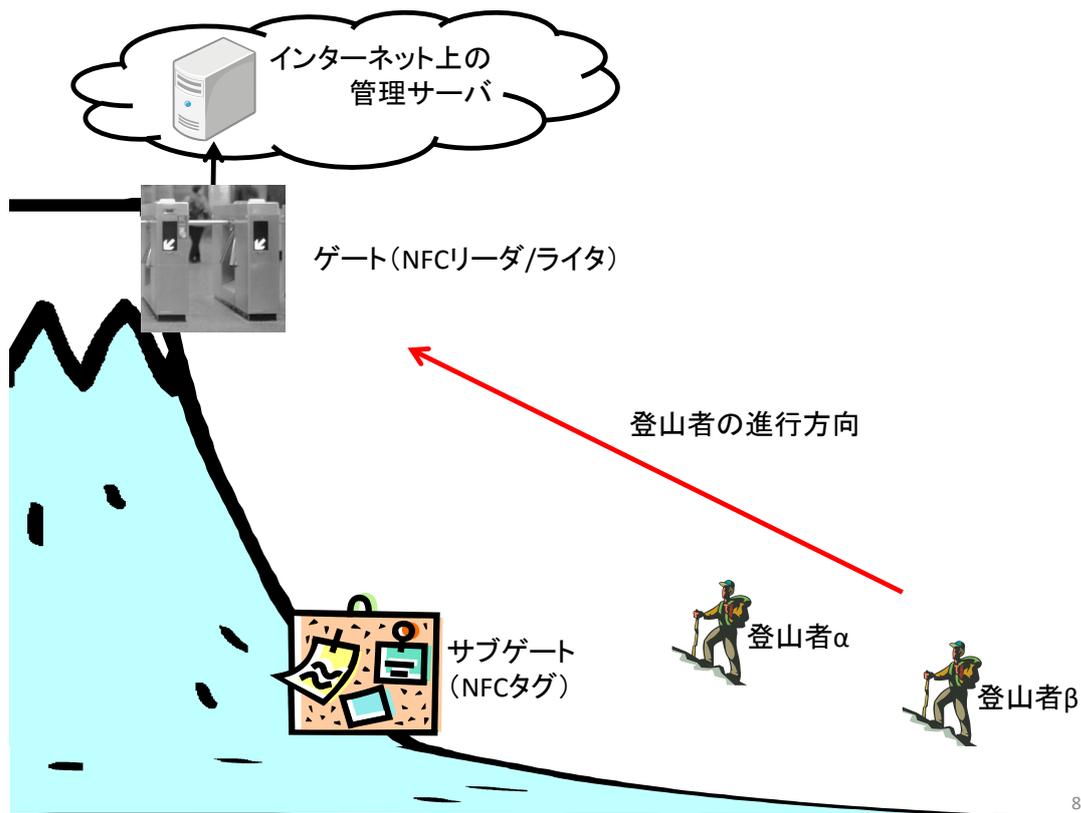


図 3.3: NFC タグを利用した情報伝達モデル 初期配置

図 3.3 のモデルではサブゲートを登山道の中腹，ゲートを山頂に1つずつ設置したと想定して述べる．登山者 α と登山者 β は，お互いを認識できない程度に離れた距離を α が先に歩いているものとする．本モデルで発生するイベントをサブゲートとゲートの2種類に分けて以下に述べる．

3.5.1 サブゲート装置に対する通過記録の登録

本項では，それぞれの登山者が登山道の中腹にあるサブゲート装置を通過した際に発生するイベントについて述べる．また，本方式をDTNの既存手法の一部であるストア・アンド・フォワード方式と比較する．

(1) 1人目の登山者 α が通過した際に発生するイベント

図 3.4 は，登山者 α がサブゲートを通過するときに発生する2つのイベントを示している．まず登山者が持つ携帯電話を用いて，サブゲートとなる NFC タグに通過記録を保存する．この通過記録は，通過したのが登山者 α であることや通過した日時などが含まれる．その後で，携帯電話は NFC タグ内に保存されたすべての通過記録をコピーして保存する．

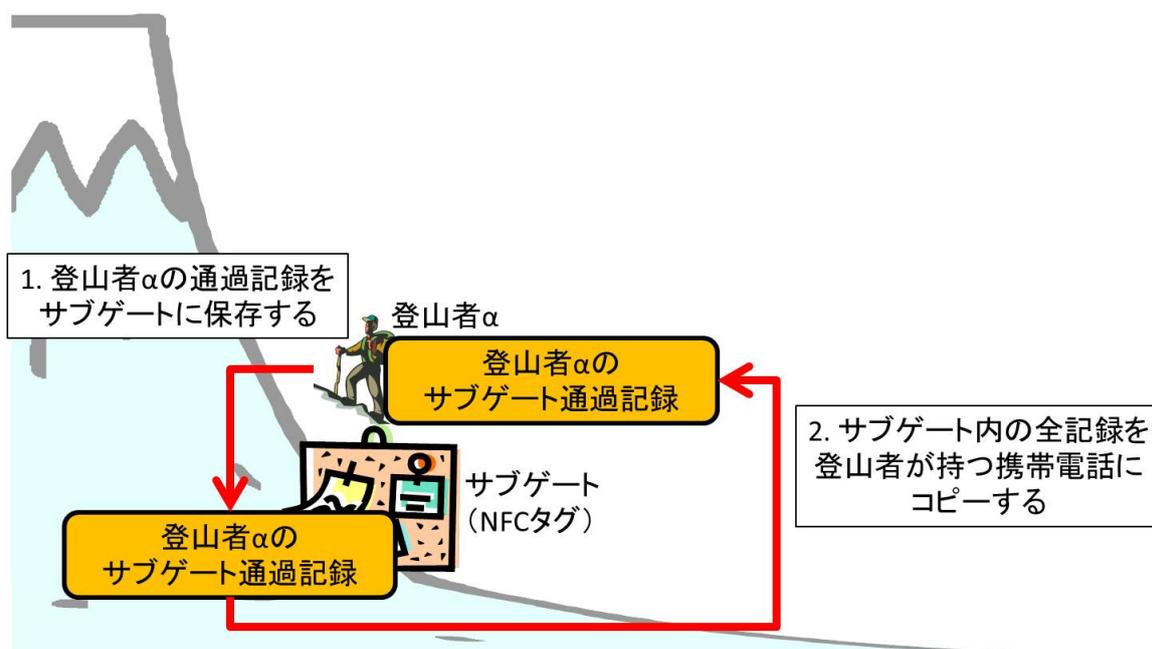


図 3.4: サブゲート通過時に発生する通過記録の登録

なお、サブゲートはインターネットとの接続性を持たない為、この時点ではまだ救助隊などの第3者が2人の位置を把握することはできない。

(2) 2人目の登山者βが通過した際に発生するイベント

図 3.5 は、登山者βが登山者αの後からサブゲートを通過するときに発生する2つのイベントを示している。登山者αが行った、サブゲートへの保存と全記録のコピーの作業を行う点は変わらないが、先に通過した登山者αの記録が登山者βの携帯電話に保存されている。仮にこの後から3人目の登山者が来た場合、その登山者はαとβの記録をコピーすることになる。

(3) DTNにおける本手法

DTNを構築する既存の手法でも、エンドノード間でのセッションのみでは通信が成立しないため、各ノード間で情報を保存しつつ次のノードにデータを渡すストア・アンド・フォワード方式が用いられている。ストア・アンド・フォワード方式の通信は、トランスポート層上にバンドル層と呼ばれるレイヤを構築することで実現する。バンドル層では転送データはバンドルとして抽象化され、バンドルの内部には転送したいデータ本体とストア・アンド・フォワード方式に必要な情報をまとめたバンドル層でのヘッダが含まれる。

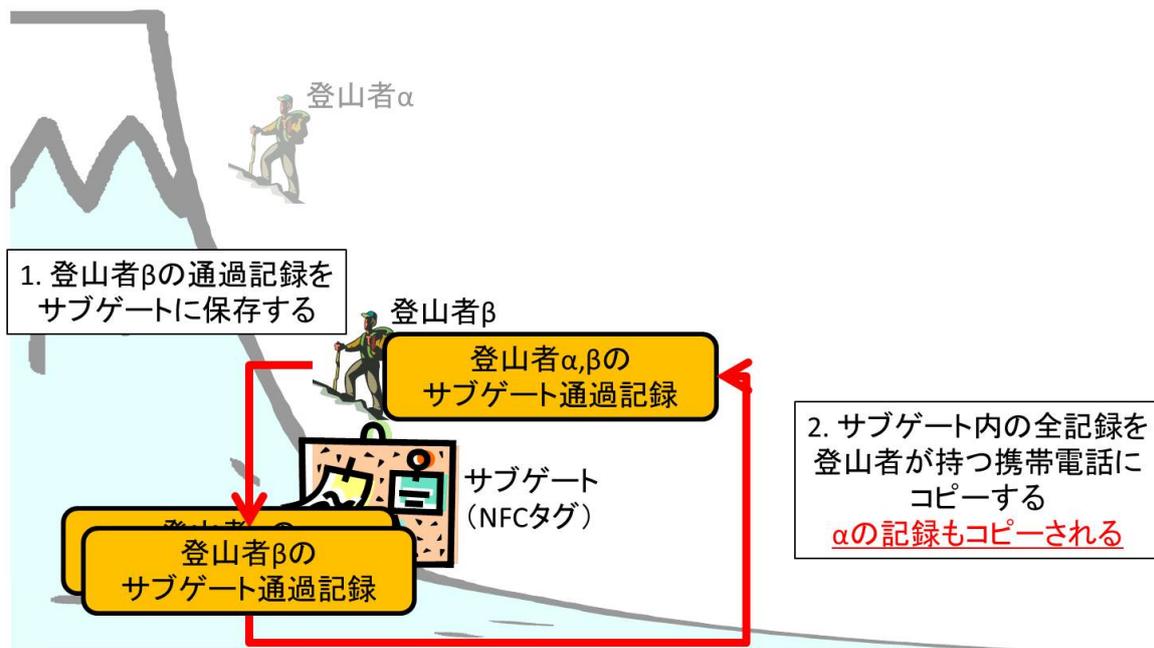


図 3.5: 他人を利用した通過記録の複製

DTN では伝達する情報をバンドル層で抽象化することにより，下位レイヤが TCP/IP やそれ以外の通信手法を複合させることを容易にしている。

3.5.2 ゲートを利用した通過記録の送信

本項では，3.5.2 項でサブゲートを通じた 2 人の登山者が山頂に設置したゲート装置を通過する際に発生するイベントについて述べる。

(1) 登山者 α が山頂に到着した場合に発生するイベント

図 3.6 は，登山者 α が山頂に設置したゲートを通るときに発生するイベントを示している。携帯電話から設置したゲート装置へ NFC を用いてサブゲートの通過記録すべてが送信される。ゲート装置は受信した通過記録を管理サーバに送信する。この段階を経て初めて，インターネット上に登山者 α の現在いるであろう範囲が公開されたことになる。実際に管理サーバに送信される 2 つの通過記録を，表 3.2 に示す。

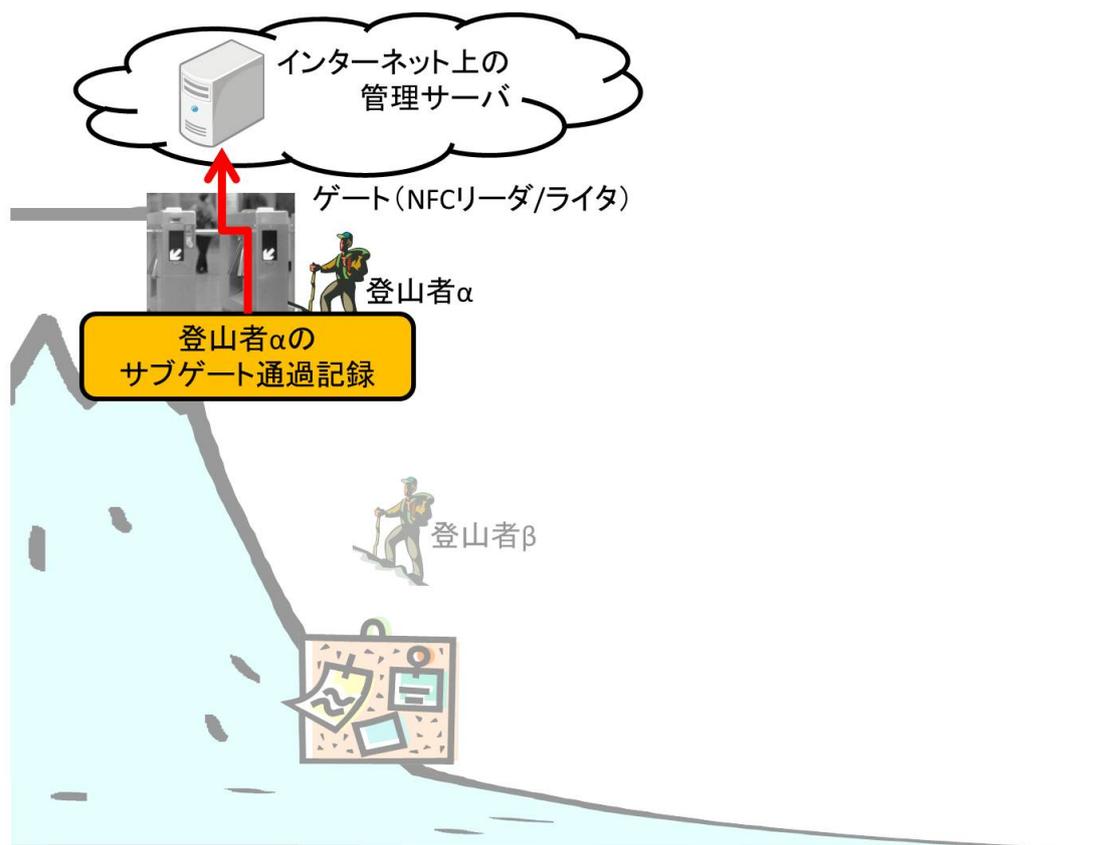


図 3.6: ゲート通過時に発生する通過記録の送信

表 3.2: 登山者αから送信される通過記録

| 送信日時 | 送信者 | 通過位置 | 通過日時 |
|--------------|------|-------|--------------|
| 13/1/1 12:00 | 登山者α | サブゲート | 13/1/1 10:30 |
| 13/1/1 12:00 | 登山者α | ゲート | 13/1/1 12:30 |

(2) 登山者βが山頂に到着した場合に発生するイベント

図 3.7 は、登山者αより先に登山者βが山頂に到着した場合に発生するイベントを示している。管理サーバに全通過記録を送信する所までは共通だが、今だにゲートに達していない登山者αが、サブゲートからゲートの間にいるであろうことが登山者βが運んだ情報によって判明したことがわかる。

表 3.3: 登山者βから送信される通過記録

| 送信日時 | 送信者 | 通過位置 | 通過日時 |
|--------------|------|-------|--------------|
| 13/1/1 14:30 | 登山者α | サブゲート | 13/1/1 10:30 |
| 13/1/1 14:30 | 登山者β | サブゲート | 13/1/1 11:00 |
| 13/1/1 14:30 | 登山者β | ゲート | 13/1/1 14:30 |

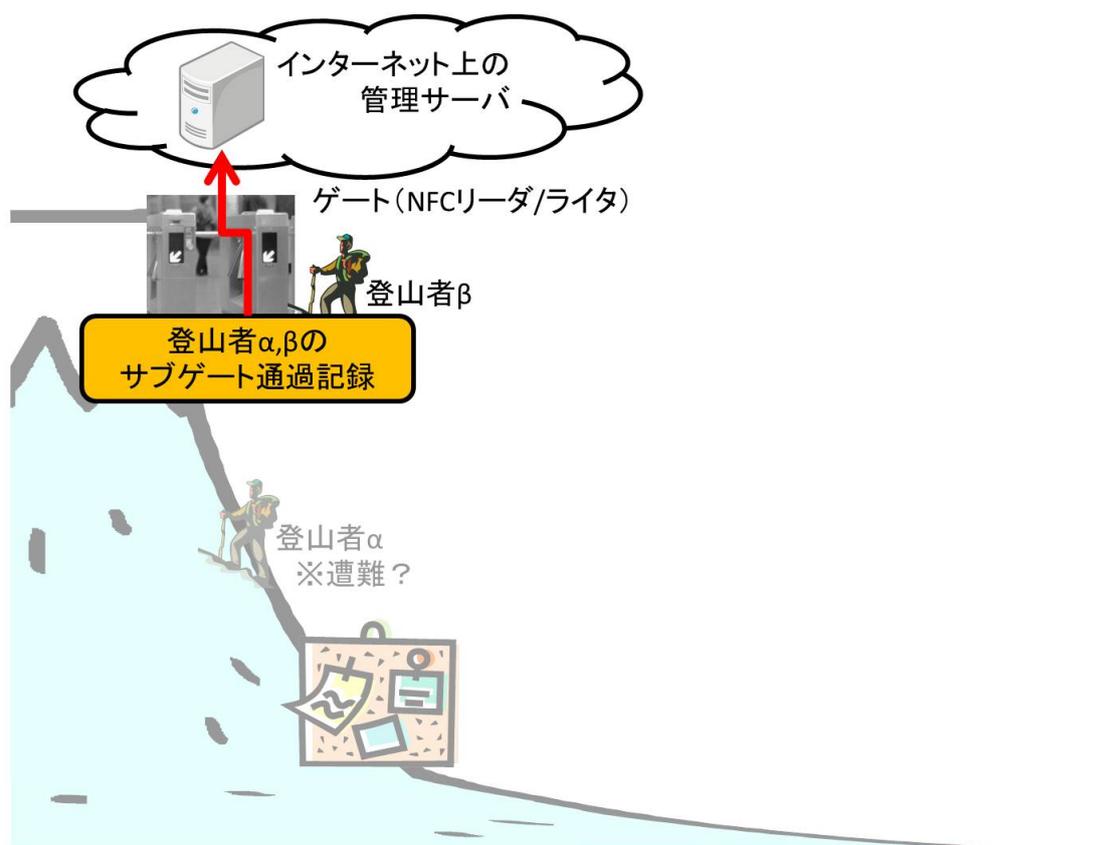


図 3.7: 複製された他人の通過記録の送信

表 3.3 は、図 3.7 の時点で登山者 β から送信される通過記録を示している。登山者 α が先にゲートと通信したか否かに関わらず、登山者 β が山頂に到着したことによって、登山者 α がサブゲートを通じた情報をインターネット上に伝達できたことがわかる。

3.5.3 本手法の利点と欠点

本節で述べた手法の最大の利点は、安価な NFC タグで構成されるサブゲートを増やすだけで登山者がいる範囲をより詳細に推定することができる点である。しかし、複数人が同じ登山道を通っている必要がある為、人口の少ない季節や、難易度の高い山では登山者が少なく効果が期待できないという欠点がある。そのため本手法は、登山の初心者が多いと想定できる難易度の低い登山道や季節で最大効果を発揮すると言える。

なお、本節で示したモデルでは山頂にインフラが必要なゲート装置を設置した場合を挙げたが、必要最低限の構成としては、登山道の両端に 1 台ずつあれば成立する。

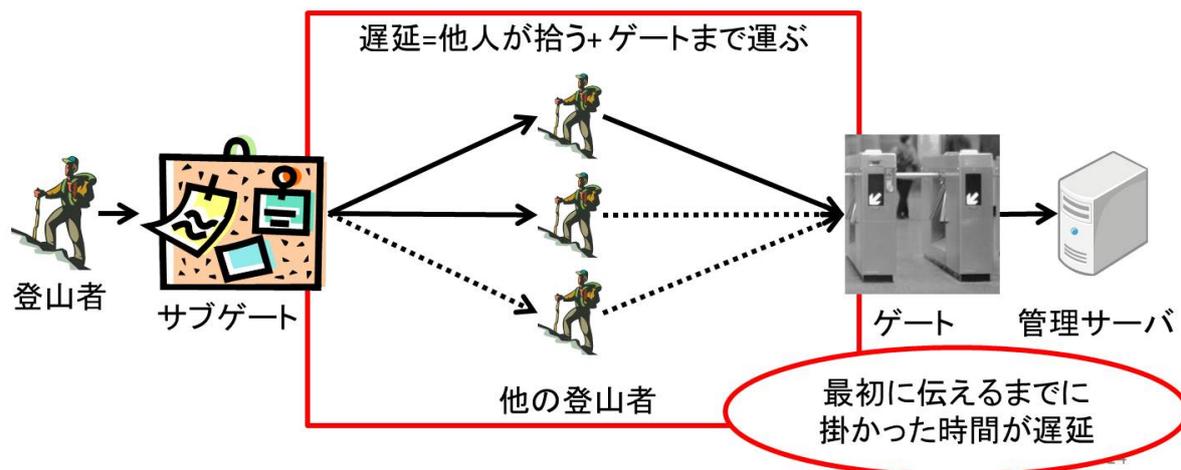


図 3.8: 情報伝達経路が持つ冗長性と遅延

3.6 情報伝達経路の冗長性と遅延

本節では、3.4節で述べた手法を用いることで構築された情報伝達経路の冗長性と遅延について述べる。

ある登山者がサブゲートを通じた記録は、後からそのサブゲートを通じたすべての登山者に対して複製される。最初に通過した登山者が行動不能になっても、残りの登山者の誰かがゲートに到達した時点でサブゲートまで通過した記録はインターネット上の管理サーバに送信される。

また、この手法には遅延を持ったネットワークとして考えることができる。登山者があるサブゲートを通じた情報は、本人もしくは後からサブゲートを経由して複製された通過記録を受け取った別の登山者がゲートに到達するまで管理サーバへ情報が届かない。

3.7 登山者同士のすれ違いによるネットワークの構築

本章で提案した手法である NFC タグを用いたサブゲート装置を設置する以外にも、登山道ですれ違う人をサブゲートとして利用する手段が考えられる。こちらの手法を用いた場合、登山口にゲート装置を設置するだけで運用できるという利点がある。しかし以下に挙げた2つの欠点があり、本論文では NFC タグによってサブゲートを実現することにした。

登山者すれ違う際に発生する問題

登山道は必ずしも道幅があるのではなく、場所によっては2人がすれ違うことも困難な場合がある。さらに、通信を行う際登山者は移動できないので他の登山者の通行を妨げてしまう。

登山道が双方向とは限らない

山によっては、傾斜や地質といった理由から登山もしくは下山の片方だけに適した道がある。例えば富士山の御殿場口登山道は砂礫の為、登山には向かず下山にのみ適した道と言える。そういった場所では他の登山者とすれ違うことが少ない為成立しない

第4章 設計

本章では，3章で述べたサブゲートを用いて通過記録を伝達するシステムの設計について述べる．

4.1 システムの全体モデル

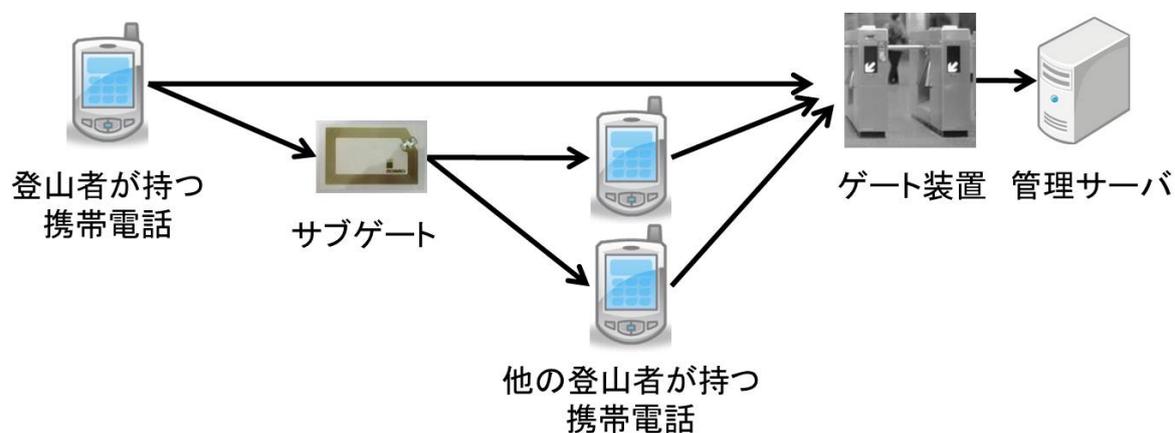


図 4.1: 通過記録を基準としたシステムのモデル

図 4.1 は本研究で実装するシステムを，通過記録を基準に示したモデルである．本システムを用いることで，ある登山者がサブゲートを通じた記録はサブゲートを介して他の登山者にも複製される．複製した通過記録は誰か1人がゲートに渡すことによって，インターネット上にある管理サーバまでの情報伝達が成立する．

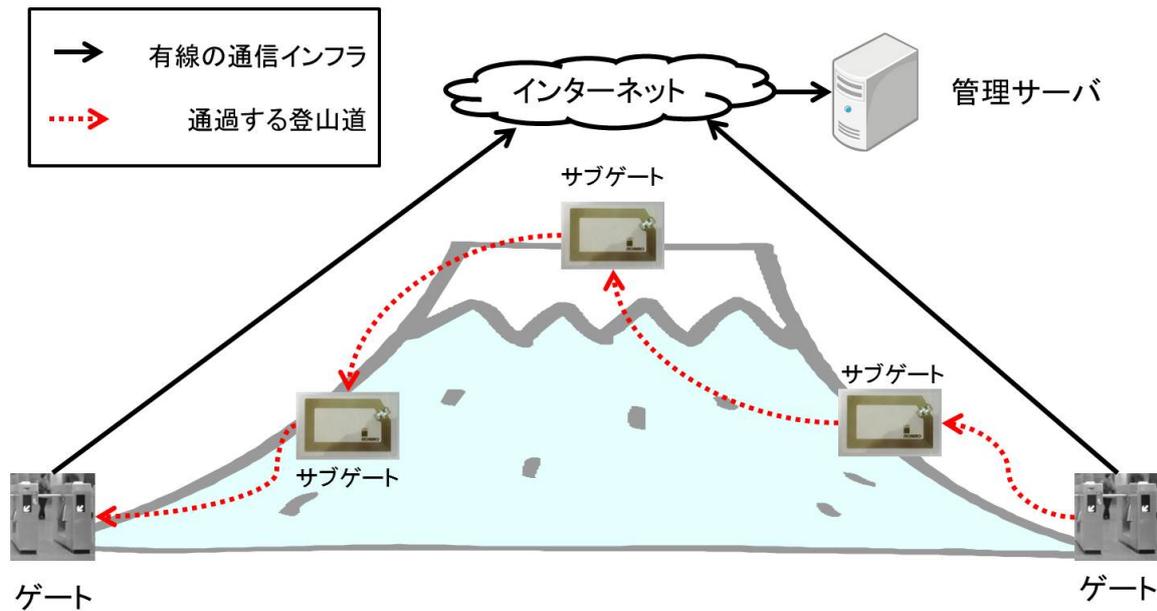


図 4.2: 登山道を基準としたシステムのモデル

図 4.2 は本研究で実装するシステムを、登山道に設置する際のモデルを示している。図 4.2 のモデルは登山道の両端にまずゲート装置を設置し、登山道の途中3か所にサブゲート装置を設置した例を示している。ゲート装置はインターネットと接続されており、登山者と通信した内容を管理サーバに送信する。

4.2 管理サーバの設計

本研究で実装する管理サーバのモデルを、図 4.3 に示す。管理サーバはインターネット上に設置され、複数の山に設置されたゲート装置全ての通過記録を受信し集計する。登山者本人やその家族、各地域の救助隊はこのサーバにアクセスすることで、集計された通過記録や現在地の範囲的な予測を知ることができる。

管理サーバは2つのデータベースを持ち、それぞれの役割を次に示す。

登山者管理用のデータベース

現在登山中の登山者に関する情報を保持するデータベースを指す。このデータベースは管理サーバの内部でのみ使用し、外部に公開しない。登山者管理用データベース内で保存する4つの値を次に示す。

- 登山を開始した日時
- 山および登山道の識別情報
- NFCの固有ID
- データベース内で固有な登山者の一時的なID

登山者管理用データベースの具体的な用途については、4.3節で述べる。

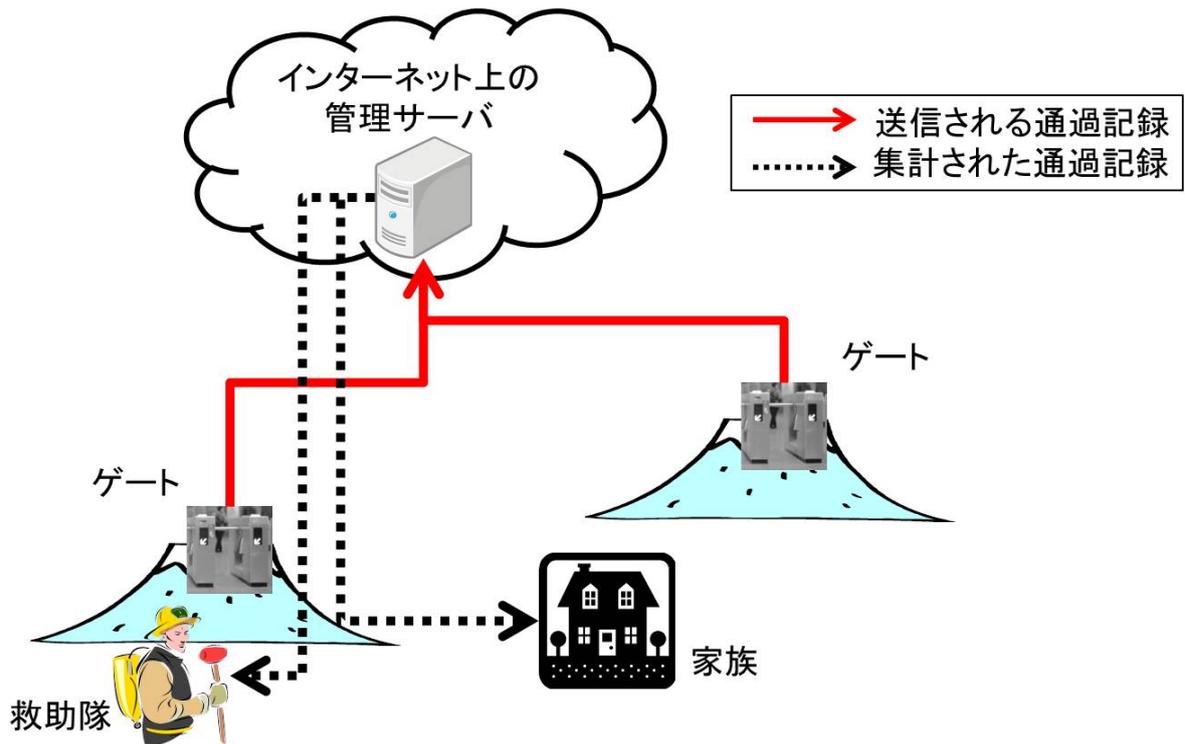


図 4.3: 本システムの設計モデル

通過記録用のデータベース

ゲート装置が収集した全ての通過記録を蓄積するデータベースである。このデータベースは登山者本人やその家族、各地域の救助隊に一般公開される。本研究では、通過記録を保持する期限は特に定めないものとする。通過記録用データベース内で保存する5つの値を以下に示す。

- 山および登山道の識別情報
- 同じ山および登山道において一意なゲートもしくはサブゲートの識別情報
- ゲート装置から通過記録を送信した登山者の識別情報
- 通過記録を保存した登山者の識別情報
- 通過記録が生成された日時

本システムでは、ゲートやサブゲートの配置は山の救助隊や地域自治体が管理する。その際、他の山とゲートやサブゲートの識別子が混同するのは好ましくない。また、NFC 下位規格ではIDが固有であると保障していない可能性もあり、管理サーバに関わる全てのIDが固有であることを保証することは困難である。よって、山および登山道を識別する情報とゲートやサブゲートを識別する情報の2つで管理サーバ上で分類・管理を行うものとする。

また遭難が発生した際に、遭難者と接触した可能性がある別の登山者からの情報を収集しやすくするため、通過記録を送信した登山者の識別情報も保存する。

例えばある登山者が携帯電話内に 3 件の通過記録を保存した状態でゲート装置と通信したとき、通過記録データベース上にはゲート装置を通過した際の 1 件を追加した、合計 4 件の通過記録が保存される。表 4.1 は保存される通過記録の具体例を示したものである。

表 4.1: 登山者 α が下山時に送信した通過記録

| 山もしくは登山道 | ゲートもしくはサブゲート | 通過記録を送信した登山者 | 通過記録を生成した登山者 | 通過記録の生成日時 |
|----------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 登山道 A | サブゲート a-1 | 登山者 α | 登山者 β | 13/01/01 10:30 |
| 登山道 A | サブゲート a-1 | 登山者 α | 登山者 γ | 13/01/01 11:20 |
| 登山道 A | サブゲート a-1 | 登山者 α | 登山者 α | 13/01/01 12:40 |
| 登山道 A | ゲート A-2 | 登山者 α | 登山者 α | 13/01/01 16:30 |

表 4.1 の例では、登山者 α がサブゲート a-1 を通過した際に登山者 β および γ の通過記録を複製し、最終的にゲート A-2 から下山した場合を想定している。複数の登山者が他人の通過記録を管理サーバに報告することで、登山者の前後関係や現在地の推定を行うことが可能となる。

4.3 登山者を識別する情報

4.2 節で述べた管理サーバ上では、全ての山岳地帯にいる登山者を一意に識別する必要がある。登山者が持つ携帯電話に搭載された NFC 通信装置には、NFC が規定した固有 ID が割り当てられており、これを用いれば容易に登山者の識別が可能である。しかし、この固有 ID は登山者が任意に変更できないため、本研究では秘匿すべき個人情報である。サブゲートを経由して他の登山者に渡すという本システムの仕様上、NFC の固有 ID をそのまま登山者の識別に使用するの是不適切であると判断した。そのため、本システムで登山者を識別する ID は、新たに一時的な値を生成するものとして設計する。本システムで用いる一時的な ID を利用するプロセスを以下に示す。

ステップ 1. 一時的な ID の生成と割り当て

登山者は登山を開始する前に、登山口に設置されたゲート装置と最初の通信を行う。この時点で NFC の固有 ID が管理サーバに送信される。管理サーバはこの値を登山者管理用のデータベースに追加する。登山者管理用のデータベースは管理サーバの内部でのみ使用され、他の登山者や山岳救助隊といった第三者には公開されない。最後に管理サーバからゲート装置を経由して、登山者の携帯電話に一時的な ID の値が伝えられる。

ステップ 2. 一時的な ID の利用

登山者がサブゲートと通信を行う際には、先ほど取得した一時的な ID を利用して通過記録を保存する。3.7 節で述べたような登山者同士で直接通信を行う場合と異なり、登山者から別の登山者への情報伝達をする時に NFC タグを経由させることで、見ず知らずの相手に自分の NFC 固有 ID を教えずに通過記録のみを伝達できる。

ステップ 3. 通過記録の収集と一時的な ID の解放

登山者が下山して最後のゲート装置と通信する際、携帯電話に保存されている全ての通過記録が管理サーバへ送信される。管理サーバは受信した通過記録を公開されたデータベースに追加する。この時に追加する 5 つの値を以下に示す。管理サーバは通過記録を保存すると同時に、その情報を報告した登山者を登山者管理用データベースから削除する。

4.4 ゲート装置の設計

登山道に設置するゲート装置の設計について述べる。ゲート装置が持つ 2 つの機能を次に示す。

機能 1. 登山を開始する際の動作

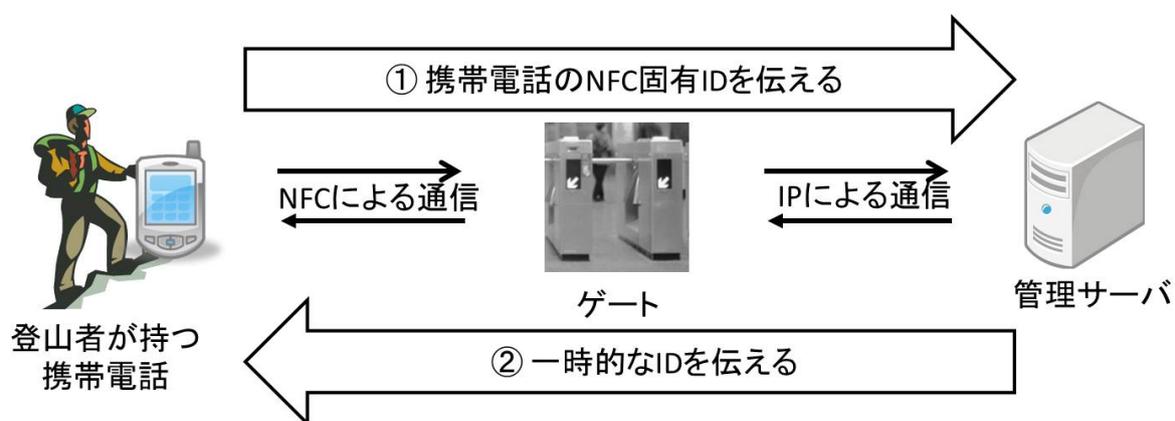


図 4.4: jpg 貼り付けサンプル

登山口に設置したゲート装置は、これから登山を開始する登山者が持つ携帯電話と最初の通信を行う。まず携帯電話の NFC 固有 ID を取得し、その情報を管理サーバに送信する。管理サーバは、4.2 節で述べた登山者管理用データベースに新しい登山者を追加する処理を行い、登山者に割り当てる一時的な ID をゲート装置に送信する。ゲート装置は受信した一時的な ID を NFC 通信を用いて携帯電話に伝達する。

機能 2. 登山を終了する際の動作

登山を終えた登山者との最後の通信について述べる。携帯電話に保存された全ての通過記録を受信して、下山した時点での通過記録を追加して管理サーバに送信する。

4.4.1 携帯電話用アプリケーションの設計

登山者が持つ携帯電話内で動作させるアプリケーションの設計について述べる。3.2 節で述べたように、本研究で携帯電話に要求する通信機能は NFC のみである。携帯電話に要求する機能を、実際に登山中に行う動作を以下に示す。

機能 1. 登山を開始する際の動作

登山者はまず、自分の携帯電話を登山口に設置されたゲート装置と接触させ、NFC 通信を行う。4.3 節で述べた ID が管理サーバからゲート装置を経由して割り当てられ、登山者は本システム上で登山中であると記録される。

機能 2. サブゲートとの通信

登山道に設置したサブゲートとの通信機能について述べる。携帯電話とサブゲートが接触することによって NFC による通信が行われる。まず最初に、サブゲートに保存されたすべての通過記録を読み取り、携帯電話内に複製して保存する。次に、サブゲートに書き込む通過記録を生成し、携帯電話内に保存しつつ、サブゲートにも追加で書き込む。

機能 3. ゲート装置を介した通過記録の報告

登山を終えて最後にゲート装置と通信する際の動作について述べる。下山口に設置されたゲート装置に対して、NFC 通信で保存した全ての通過記録を渡す。

4.5 サブゲート装置の設計

登山道に設置するサブゲート装置の設計について述べる。サブゲートに用いる NFC タグは、3.2.3 項の図 3.2 に挙げられるようなハードウェアとして市販されている。サブゲートは単独ではコンピュータとしての動作を行わず、携帯電話からの誘導電力によって通信や読み書きの処理を行う。本節ではサブゲートの設計として、内部に保存するデータの構成について述べる。

まず、同じ識別子を持った山もしくは登山道において、サブゲートが持つ NFC の ID が固有であることを確認する必要がある。NFC の下位規格によっては ID が固有と保障されていない場合があり、本システム上でサブゲートを識別する手段に用いる為、確認してから設置する必要がある。

サブゲートは登山者の持つ携帯電話によって、ハードウェアの記憶容量が許容する限りの通過記録を保存する。サブゲート内において通過記録として保存される 3 つの情報を次に示す。

- 通過記録の作成日時
- 通過記録を保存した登山者の一時的な ID
- 規定したデータサイズのメッセージ領域

第5章 実装

本章では，4章で述べた設計をもとに行った本システムの実装について述べる．本システムの実装環境を表 5.1 に示す．

表 5.1: 実装環境

| 実装物 | ハードウェア | OS | 実装言語 | 備考 |
|-------------------|---------------------|---------------|------|----------------------|
| 管理サーバ | MacBook 上の 仮想マシン | Ubuntu 10.04 | C 言語 | データベースに MySQL を使用 |
| ゲート装置 | Nexus 7 | Android 4.2.1 | JAVA | multirow |
| 携帯電話用 アプリケーション | | | | |

本章の構成について述べる．5.1 節では，本システムの実装に用いた Android 端末上で NFC 通信を行う際の技術的現状を述べる．5.2 節では管理サーバの実装を，5.3 節ではゲート装置の実装を，5.4 節では携帯電話用アプリケーションの実装についてそれぞれ述べる．

5.1 Android 端末で NFC 通信を行う際の技術的現状

本論文では，ゲート装置と携帯電話用のアプリケーションを，Android 上のアプリケーションとして実装した．本節では，Android バージョン 2.3.3 以降で NFC 通信を行う技術的現状について述べる．

Google は，Android のバージョン 2.3 に対応した API レベル 9 から，NFC タグの読み込み機能である Reader Mode NFC を導入し，Android のバージョン 2.3.3 に対応した API レベル 10 から，NFC タグへの書き込み機能と P2P モードでのデータ交換を導入した [16]．Android 上で NFC 通信を行う際の実装は，大きく 3 つに分類できる．それぞれについて以下に示す．

カードエミュレーション

Android 端末を，電子マネーカードのような状態にする実装を指す．他の NFC リーダ/ライターから読み書きが可能になる．

リーダ/ライタ

Android 端末を NFC リーダ/ライタとして使用する実装を指す。本システム上では、携帯電話用アプリケーションがサブゲートと通信する際にこの機能を実装する。

P2P

NFC デバイス 2 台が双方向な通信を行う実装を指す。Android のバージョン 4.0 から導入された Android Beam は NFC による通信機能である。Android 4.0 以降の端末 2 台を接触させると、動作中のアプリケーションが規定した処理を行う。本システム上では、ゲート装置と携帯電話用アプリケーションが通信する際にこの機能を実装する。

5.2 管理サーバ

管理サーバの実装について述べる。管理サーバは 4.2 節で述べたように、登山者管理用のデータベースと通過記録用のデータベースを内包し、ゲート装置と通信する機能を持つ。本論文では、Ubuntu OS の内部に実装した。管理サーバ上に実装した 2 つの機能の詳細について以下に述べる。

登山者管理用データベースの管理

現在登山中の登山者が持っている携帯電話の NFC 固有 ID と、本システム上で使用する一時的な ID の対応表およびそれを管理する機能を指す。この情報は管理サーバ内部でのみ使用され、外部には公開されない。

通過記録用データベースの管理

登山者がゲート装置と通信したことで送られてきた通過記録を保存するデータベースと、それを管理する機能を指す。通過記録用データベースは常に公開された状態にあり、登山者本人やその家族、山岳救助隊といった利用者が閲覧できるようになっている。本システムではデータベースの内容を PHP を用いて Web ブラウザから閲覧できるよう実装した。

また、管理サーバとゲート装置の間で通信する手段として、Google Talk[17]にも用いられている XMPP チャットプロトコルを採用した。管理サーバ側の XMPP チャット環境は、佐藤弘崇氏が実装したものを使用している。

図 5.1 は XMPP チャットサーバとして使用した Mac Mini であり、通過ゲートと管理サーバはこの XMPP サーバを介して通信する。図 5.2 は管理サーバとして使用した Xserve であり、内部に XMPP チャットクライアントと登山者管理用および通過記録用のデータベース、各データベースを操作する C 言語のアプリケーションが動作している。



図 5.1: XMPP サーバとして使用した Mac Mini



図 5.2: 管理サーバとして使用した Xserve

5.3 ゲート装置

ゲート装置の実装について述べる。ゲート装置は 4.4 項で述べたように、登山道の開始もしくは終了地点となる全ての登山口に設置される。本論文では表 5.1 で示したように、Nexus 7 上に Android アプリケーションとして実装した。



図 5.3: Nexus 7 の NFC 通信モジュール

図 5.3 は、ゲート装置となる Nexus7 の背面部を撮影したものである。写真の枠内の位置に NFC 通信モジュールが内臓されている。具体的な NFC 通信の実装としては、5.1 節で挙げた Android Beam 機能を採用した。Android Beam では送信するデータの内部に、受信側で行う処理を 2 つの方法で指定できる。前者は URL や画像ファイルといった形式であり、そのデータ形式に対応したアプリケーションが一覧として受信側の端末画面に表示される。後者はアプリケーションを具体的に指定する形式であり、本研究ではこちらの手法を用いて実装した。これにより、登山開始時にゲート装置と通信することで携帯電話用アプリケーションを自動的に起動させ、4.3 項で述べた一時的な ID を付与することが可能となった。

また、管理サーバと通信をする為の XMPP チャットクライアントを実装した。このクライアントアプリケーションを実装するにあたり、SMACK ライブラリを使用した。

5.4 携帯電話用アプリケーション

携帯電話用アプリケーションの実装について述べる。携帯電話用アプリケーションは 4.4.1 項で述べたように、登山者の携帯電話の内部で動作させ、ゲートやサブゲートといった登山道に設置された各装置と NFC による通信を行う。本アプリケーションは、ゲート装置と同様に Nexus 7 上で動作する Android アプリケーションとして実装した。

第6章 評価

本章では，2.6節で述べた要件を基に5章で述べたアプリケーションに対する評価を行う。

6.1 簡易モデル下での実機テスト

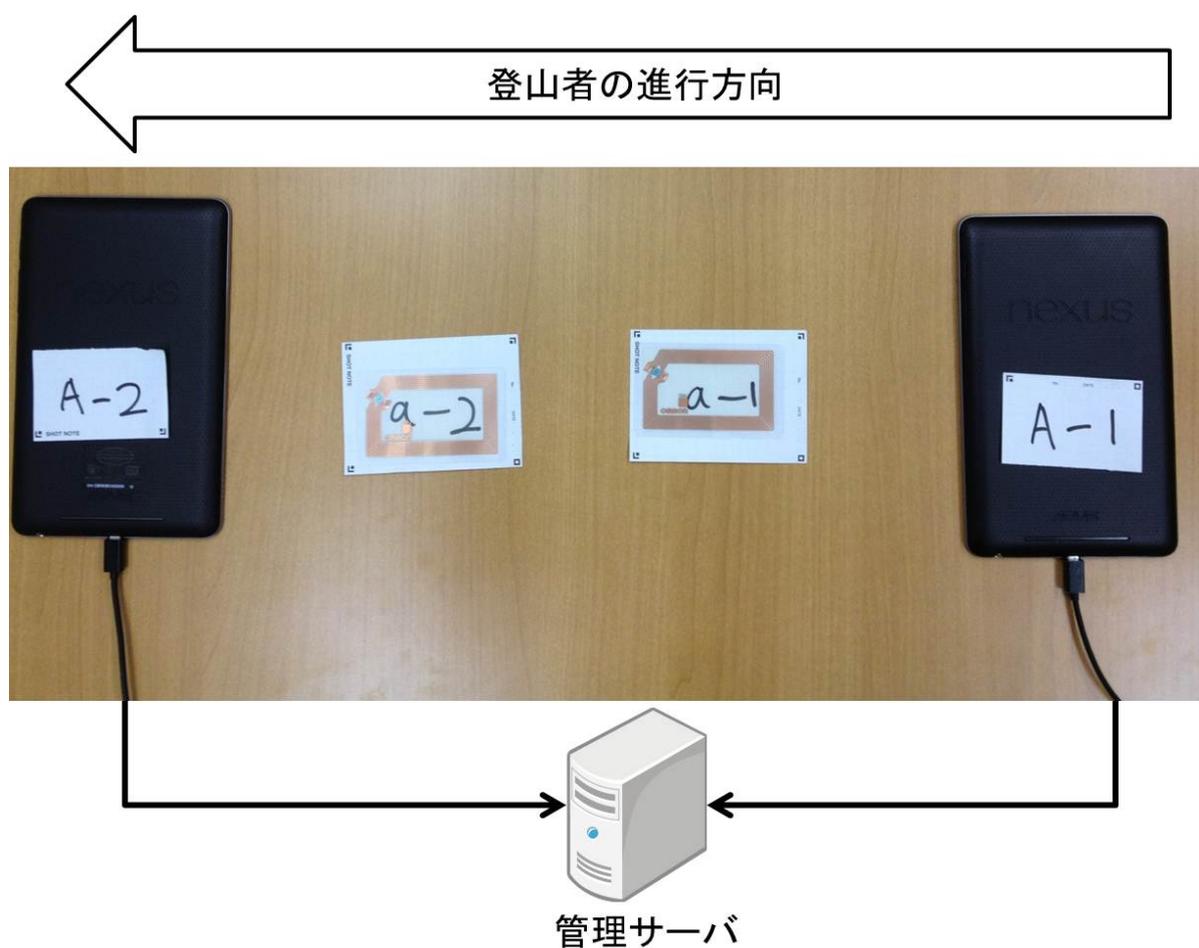


図 6.1: 実装物の動作検証モデル

図 6.1 は本研究で実装したアプリケーションをテスト環境を撮影したものである。登

山道の両端にゲート装置を設置し，登山道の間接点 2 か所にサブゲート装置を設置した．登山者は進行方向にしたがって， $A-1$ ， $a-1$ ， $a-2$ ， $A-2$ の順番に通信を行う．このテスト環境下で複数の携帯電話用アプリケーションを通信させ，最終的に渡された通過記録をゲート装置から管理サーバへ送信した．

表 6.1: 管理サーバに蓄積された通過記録

| 番号 | ゲートもしくはサブゲート | 通過記録を送信した登山者 | 通過記録を生成した登山者 | 通過記録の生成日時 |
|----|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 1 | A-1 | α | α | 13/01/01 10:30 |
| 2 | a-1 | α | α | 13/01/01 11:40 |
| 3 | a-2 | α | α | 13/01/01 12:00 |
| 4 | A-2 | α | α | 13/01/01 13:10 |
| 5 | A-1 | β | β | 13/01/01 11:10 |
| 6 | A-1 | γ | γ | 13/01/01 11:30 |
| 7 | a-1 | γ | α | 13/01/01 11:40 |
| 8 | a-1 | γ | β | 13/01/01 11:50 |
| 9 | a-1 | γ | γ | 13/01/01 12:10 |
| 10 | a-2 | γ | α | 13/01/01 12:00 |
| 11 | a-2 | γ | γ | 13/01/01 12:50 |
| 12 | A-2 | γ | γ | 13/01/01 13:30 |
| 13 | a-1 | β | α | 13/01/01 11:40 |
| 14 | a-1 | β | β | 13/01/01 11:50 |
| 15 | a-2 | β | α | 13/01/01 12:00 |
| 16 | a-2 | β | γ | 13/01/01 12:50 |
| 17 | a-2 | β | β | 13/01/01 13:20 |
| 18 | A-2 | β | β | 13/01/01 14:00 |

表 6.1 は本テスト環境で管理サーバに蓄積された通過記録を，管理サーバに送信された順に示したものである．本来であれば山もしくは登山道を識別する情報も保存されるが，本テスト環境は常に同じ値の為省略した．テストの都合上，通過記録を生成した日時だけは携帯電話用アプリケーションからダミーの値をサブゲートに記録させることで再現した．またシステム開始時点でのサブゲートには，通過記録が 1 つも保存されていない状態であるとする．表 6.2 は表 6.1 を，通過記録を生成した登山者別に並び替えたものである．表 6.2 から推測できる登山者の行動履歴を挙げる．

表 6.2: 生成した登山者別に並び替えた通過記録

| 番号 | ゲートもしくはサブゲート | 通過記録を送信した登山者 | 通過記録を生成した登山者 | 通過記録の生成日時 |
|----|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 1 | A-1 | α | α | 13/01/01 10:30 |
| 2 | a-1 | α | α | 13/01/01 11:40 |
| 7 | a-1 | γ | α | 13/01/01 11:40 |
| 13 | a-1 | β | α | 13/01/01 12:00 |
| 3 | a-2 | α | α | 13/01/01 12:00 |
| 10 | a-2 | γ | α | 13/01/01 12:00 |
| 15 | a-2 | β | α | 13/01/01 12:00 |
| 4 | A-2 | α | α | 13/01/01 13:10 |
| 6 | A-1 | γ | γ | 13/01/01 11:30 |
| 9 | a-1 | γ | γ | 13/01/01 12:10 |
| 11 | a-2 | γ | γ | 13/01/01 12:50 |
| 16 | a-2 | β | γ | 13/01/01 12:50 |
| 12 | A-2 | γ | γ | 13/01/01 13:30 |
| 5 | A-1 | β | β | 13/01/01 11:10 |
| 8 | a-1 | γ | β | 13/01/01 11:50 |
| 14 | a-1 | β | β | 13/01/01 11:50 |
| 17 | a-2 | β | β | 13/01/01 13:20 |
| 18 | A-2 | β | β | 13/01/01 14:00 |

登山者 α は最初に入山し、最初に下山した

記録 [1,2,3,4,7,10,13,15] 番から、登山者 α は誰の通過記録を複製することもなく、無事に下山したことがわかる。

登山者 β は $a-1$ から $a-2$ の間で登山者 γ に抜かされた

記録 [5,6,8,9] 番から、登山者 β はサブゲート $a-1$ の地点までは登山者 γ より先を歩いていたことがわかる。

記録 [11,16,17] 番から、登山者 γ が登山者 β よりも先にサブゲート $a-2$ の地点に到着したことがわかる

本テストを通して、たとえば登山者 β が遭難した場合でも登山者 γ の存在によって登山者 β の現在地を特定しやすくなったことがわかる。それと同時に、3人の登山者と2か所のサブゲートだけでも大量の通過記録が発生することがわかり、データベースの運用上解決すべき欠点であることが分かった。

6.2 サービス運用コストの比較

本節では、2.3.2 項で述べたサービス運用コスト面から本手法を比較検証する。

表 6.3: 既存手法の比較

| 手法 | 煩雑さ | 精度 | 登山者の 識別 | 即時性 | 運用 コスト |
|-----------------------------|-----|-----|------------|-----|-----------|
| 記帳簿を用いた搜索範囲の限定 | 大 | 低 | 可 | 無 | 極小 |
| メールによる入山及び下山の管理 | 中 | 低 | 可 | 無 | 小 |
| ビーコン電波を用いた遭難者探索 | 小 | 高 | 可 | 有 | 中 |
| ※ チェックポイント装置を用いた 搜索範囲の限定 | 小～大 | 小～大 | 可 | 無 | 大 |
| ※ 人感センサを用いた遭難者探索 | 無 | 高 | 不可 | 有 | 大 |
| 本研究で提案した手法 | 小 | 中 | 可 | 無 | 小 |

表 6.3 は本手法の比較対象として、2.4 節で挙げた既存手法と 2.5 節で挙げた運用コスト面から非現実的と判断した手法を並べたものである。次に本手法を表 6.3 で示した評価結果に至る根拠を述べる。

登山者が携帯電話をゲートやサブゲートといった装置と接触させるだけで成立する本システムは、記帳簿への記入やメールの送信よりも容易な作業であると言える。ビーコン電波を用いた手法でも、遭難時にビーコン装置を操作するだけと平時に限れば作業量は少なく、本手法と同じ程度の煩雑さであると判断した。

本手法では安価な NFC タグによって登山道を分割し、登山者の現在地と思わしき範囲をより小さくすることに成功した。山の内外しか判別できない記帳簿やメールによる管理よりも、本手法が詳細な情報を得られることは明らかである。しかし、リアルタイムな現在地を把握できるビーコン電波を用いた手法や、人感センサを用いた手法よりは精度が粗い。

本手法では登山者が持つ NFC の固有 ID や、それを秘匿する為に実装した一時的な ID によって登山者を識別することが可能である。本研究の今後の課題の 1 つとして、この登山者の識別を利用したコミュニケーションが考えられる。具体的な内容については 7.2.1 項で述べる。

本手法は登山者間で構築した DTN 上での遅延のため、即時性のある情報は得られないと判断した。実際に発生するであろう遅延については、6.3 節で述べる。

本手法は既存の手法と比較しても、運用コストが小さいグループに入ると判断した。本システムは安価な NFC タグを大量に利用することで精度を確保する為、管理サーバを要求するメールによる管理と同程度の運用コストであると判断した。

6.3 エラー率の数式化

本項では、登山者の人数やゲートおよびサブゲートの数を変数として、通過記録がインターネット上に発信されるまでの遅延やサブゲートとの通信を失敗した際の影響を数式化して示す。

まず、登山者の人数に関する定義を行う。ここで述べる登山者の人数とは、ある時点で登山道にいる人数という意味である。本研究では、3章で示したように登山者の通過記録が他の登山者を媒介としてインターネット上に発信される。そのため、ある登山者1人の移動速度よりも、登山者全体の移動速度の平均が重要な要素となる。登山道の長さ L と登山者の人数 M と移動速度の平均 S から、登山道のある地点を登山者が通過する時間差 T は $T = \frac{L}{MS}$ となる。

ある通過記録がサブゲート内に生成されてから、それがインターネット上に発信されるまでの遅延について述べる。通過記録を保存したサブゲートから次のゲート装置までの距離 L_1 とし、登山者の移動速度 S とするとサブゲートからゲート装置までの移動時間 G は $G = L_1/S$ となる。これはそのまま、通過記録を生成した登山者本人がゲート装置と通信した場合の遅延を示す。

ある通過記録がサブゲート内に生成されてから、後から通過した別の登山者がそれを複製するまでの遅延 D について述べる。本研究が提案するシステムは登山者の操作を必要とするため、操作に間違いが発生する可能性がある。仮に操作を失敗する確率を一律に $\alpha : 1 > \alpha > 0$ とすると、 n 人目まですべての登山者が失敗する確率は α^n となる。 $n-1$ 人目までが失敗し n 人目で成功する確率 P_n は $P_n = \alpha^{n-1}(1 - \alpha)$ となり、確率の合計は

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n P_n &= \lim_{n \rightarrow \infty} ((1 - \alpha) + \alpha(1 - \alpha) + \cdots + \alpha^{n-1}(1 - \alpha)) \\ &= (1 - \alpha) \lim_{n \rightarrow \infty} (1 + \alpha + \cdots + \alpha^{n-1}) = (1 - \alpha) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - \alpha^n}{1 - \alpha} = 1, \end{aligned}$$

と正しく 1 に収束する。 $n-1$ 人目までが失敗し n 人目で成功した場合に発生する遅延は nT となる為、遅延の期待値 D は

$$\begin{aligned} D &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n nTP_n = \lim_{n \rightarrow \infty} ((1 - \alpha) \cdot T + \alpha(1 - \alpha) \cdot 2T + \cdots + \alpha^{n-1}(1 - \alpha) \cdot nT) \\ &= T(1 - \alpha) \lim_{n \rightarrow \infty} (1 + 2\alpha + 3\alpha^2 + \cdots + n\alpha^{n-1}) \\ &= T \lim_{n \rightarrow \infty} (1 + \alpha + \alpha^2 + \cdots + \alpha^{n-1} - n\alpha^n) = T \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1 - \alpha^n}{1 - \alpha} - n\alpha^n \right) = \frac{T}{1 - \alpha}, \end{aligned}$$

となる。仮に N 人に 1 人がサブゲートとの通信を行うとした場合 $1 - \alpha = \frac{1}{N}$ より $N = \frac{1}{1 - \alpha}$ となり、遅延の期待値 D は $D = \frac{T}{1 - \alpha} = NT$ となる。

α はサブゲートとの通信が失敗する確率であり、仮に N 人に 1 人がサブゲートとの通信を行うとした場合、 $N = \frac{1}{1 - \alpha}$ より遅延の期待値 D は $D = NT$ となる。

第7章 結論

本章では本論文の成果をまとめ、今後の展望を述べる。

7.1 本論文のまとめ

本論文では、登山者がある場所を通過した記録をインターネット上のサーバまで伝達させる経路を構築し、集計した記録から遭難者の探索を補助することを目的とした。その実現手法として、登山道に安価な NFC タグを設置し、登山者がその NFC タグに自身が通過した記録を残しつつ、保存されている記録を携帯電話の記憶領域に複製することで構築される一方向なネットワークを提案し実装した。

山岳地帯では携帯電話の広域無線通信機能が安定して使用できないため、自身の現在地を公開しにくいという問題点がある。しかし、登山道に人感センサなどを配置するなどの手段は、運用コストの面から現実的とは言えない。そういった背景を踏まえて、登山者が山の内外どちらに居るかをメールを利用して把握するサービスや、登山者に持たせたビーコンの電波をヘリコプター高度から探索する手法などが模索されている。これらの手法は共通して運用コストと探索する際の精度が比例しており、またその選択肢が安価かつ低性能、もしくは高価かつ高性能と両極端になっている現状がある。本研究では、ある程度運用コストと精度が調整でき、両極端な選択肢しかない現状において中間に位置する選択肢の提案を行った。

NFC タグは他の通信を行うデバイスと比較しても非常に安価であり、また外部からの誘導電力だけで動作するほど省電力なため、電源のインフラを持たずに登山道に設置できる。本研究では、同じ登山道を通る登山者それぞれが、自分が通過した場所の NFC タグに自身が通過した記録を残し、またその NFC タグに保存された他人の記録をすべてコピーして携帯電話内に保存することで、誰か一人が行方不明になっても、その遭難者がどこまで通過したかを他の登山者が持つ情報から得られるようになった。

また本論文では、本システムを実際に実装し動作検証を行った。その結果、登山者の現在地がある程度推測できた。さらに本システムの性能を数式化し、登山者の人数や NFC タグの数、登山者と NFC タグの通信し忘れなどを変数としてシステム上で発生するを検証した。その結果、登山者の人数と遅延が線形に反比例することが分かった。以上の評価結果から本手法が既存手法と比較して、多大な運用コストを要求せずにより登山者の現

在値を推定する精度を上昇させられる手法であることが明らかになった。

7.2 今後の課題

本節では、本研究の今後の課題と展望について述べる。

7.2.1 集計データを基にした登山者 SNS の構築

本研究で提案した手法は、遭難した際だけでなく無事に下山したときに、自分の登山した記録を残す場としても利用できる。これを応用すると、同じ山によく登っている人との結びつきをもてたり、歩いた距離などを他人と競争するような登山者用 SNS を構築することができる。我が国において登山は重要な観光要素の1つであり、登山活動を促進するサービスもまた有用なものと考えられる。

7.2.2 より複雑な登山ルートでの動作検証

本研究および提案したシステムは、登山道を一本の道だと仮定して設計・実装した。しかし、実際の登山道は複雑に分岐もしくは合流することが多く、そういった場合のシミュレートが本研究では不足している。よって今後実際に山に設置しての動作検証や、数式もしくはソフトウェアを用いて複雑なシミュレートを行う必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、主査である慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士、副査である慶應義塾大学環境情報学部教授中村修博士、慶應義塾大学政策・メディア研究科特別研究講師斉藤賢爾博士に感謝致します。また研究に対して多くの助言と指導をしてくださった准教授植原啓介博士に感謝致します。

モバイル広域ネットワークプロジェクトにおいて、ご指導とご助言を頂きました、慶應義塾大学環境情報学部准教授楠本博之博士、同学部准教授三次仁博士、同学部准教授Rodney D.Van Meter III 博士、同大学政策・メディア研究科特別研究講師吉藤英明博士、同大学政策・メディア研究科特別研究講師佐藤雅明博士に感謝致します。

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科後期博士課程空閑洋平氏、岡田耕司氏、堀場勝広氏、松谷健史氏、工藤紀篤氏、鈴木詩織氏、永山翔太氏に感謝致します。同研究室修士課程澁田拓也氏、小澤みゆき氏、佐藤友紀氏、横石雄大氏、関根冬輝氏、石崎佳織氏、山本知典氏、碓井利宣氏に感謝致します。村井研究室OBである田崎創氏、水谷正慶氏、金井瑛氏、中村友一氏、黒宮佑介氏、峯木巖氏、六田佳祐氏、江村圭吾氏、上原雄貴氏、波多野敏明氏、重松邦彦氏、山口修平氏に感謝致します。特に博士課程とOBの先輩方には学部のころから非常にお世話になりました。重ねて感謝致します。

研究に協力いただいた同大学総合政策学部及び環境情報学部所属の山岸 祐大氏、藤本大輝氏、鴻野 弘明氏、中島 明日香氏に感謝致します。学部からの研究の場を提供してくださった徳田・村井・楠本・中村・高汐・バンミーター・植原・三次・中澤・武田合同研究プロジェクトの皆様に感謝致します。

私と共に修士論文を執筆した、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科佐藤弘崇氏、米村茂氏、宮崎圭太氏に感謝致します。また、MIT メディアラボの澤田暖氏に感謝致します。

今回の研究テーマを引き合わせてくれた日本ボーイスカウト神奈川連盟と、大和第五団の団員に感謝します。登山を中心とした多くの野外活動の経験が、本研究を進めるうえで大きな力になりました。

最後に、大学入学から大学院修了の6年間だけでなく、24年間をあらゆる面で支えていただいた父、隆宏と母、里江子と妹、聡子に心から感謝致します。以上を持って謝辞と致します。

参考文献

- [1] 警察庁. 平成23年中における山岳遭難の概況. http://www.npa.go.jp/safetylife/chiiki28/h23_sangakusounan.pdf, 10 2012.
- [2] 日本生産性本部. レジャー白書2011 進むレジャーの「デジタル」化. 日本生産性本部, <http://bookstore.jpc-net.jp/detail/yoka/goods003621.html>, 8 2011.
- [3] 日本労働者山岳連盟. ヤマトモ. <https://www.yama-tomo.jp/>.
- [4] 岡田 敏美, 浅田 峯夫, 森本 克英, 前田 幸吉, 高木 健治, 芦原 佑樹, 中河 泰済, 三宅 壮聡, and 石坂 圭吾. ヘリコプター高度からのvhf電波到来方向計測による山岳遭難者捜索システム: 山岳伝搬および機体による方向計測誤差の検討 (移動通信ワークショップ: 次世代ブロードバンド無線通信の実現に向けて). **電子情報通信学会**, 2003.
- [5] アットエス. 高齢登頂者の記帳簿、年間800人以上 浅間大社奥宮. <http://www.at-s.com/news/detail/100050881.html>.
- [6] A. tutorial. delay-tolerant networks (dtns).
- [7] 波多野 敏明. 車車間通信を想定した遅延・分断耐性ネットワークにおけるメッセージ配送機構. Master's thesis, 慶應義塾大学 政策・メディア研究科, 2011年度.
- [8] Infrared Data Association. Irda data. <http://www.irda.org/>.
- [9] Sony. <http://www.sony.co.jp/>.
- [10] Nxp semiconductors. <http://www.nxp.com/>.
- [11] Sony Corporation. Felica. <http://www.sony.co.jp/Products/felica/>.
- [12] Nfc quest. <http://www.brilliantservice.co.jp/nfcquest/>.
- [13] ブリリアントサービス. <http://www.brilliantservice.co.jp/>.
- [14] Nfc time card. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.jpn.fixa.nfc_timecard.

- [15] Fixa. <http://www.fixa.jpn.com/>.
- [16] Zigurd Mednieks, Laird Dornin, G.Blake Meike, and Masumi Nakamura. プログラミング *Android*. オライリー・ジャパン, 2 2012. 永井 勝則 訳.
- [17] Google. Google talk. <http://www.google.com/talk/>, 2011.