

博士学位論文
システムエンジニアリング学

災害時の情報空白期における
防災情報配信を補完する準天頂衛星を利用した
防災情報配信システムの設計と評価

Design and Evaluation of Early Warning System
Using Quasi-Zenith Satellite
for Covering Early Warning in Information
Blackout Period of Disaster

指導教員 神武 直彦 准教授

2015年3月

慶應義塾大学大学院
システムデザイン・マネジメント研究科

岩泉 大介

論 文 要 旨

学籍番号	81252015	氏 名	岩 泉 大 介
------	----------	-----	---------

論 文 題 目：

災害時の情報空白期における防災情報配信を補完する
準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの設計と評価

(内容の要旨)

本論文は大規模災害時に発生する可能性のある情報空白期における防災情報配信を補完する準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの設計と評価について論述する。

地震・津波災害などの大規模災害発生時には、情報インフラの破壊・破損等により、避難や救援、救助に必要な防災情報を伝達する手段が喪失し、人的被害が拡大する恐れがある。このため、情報インフラの破壊や停止の影響を受けない、人工衛星を使用した防災情報伝達は有効である。人工衛星を使用した情報伝達手段のひとつとして衛星電話が挙げられる。しかしながら、衛星電話は携帯電話と比べ一般に普及しておらず、多くの人に防災情報を伝達する手段としては適切ではない。それに対し、広く普及している携帯電話に対して人工衛星から情報を伝達する手段として、携帯電話及びカーナビゲーション等に搭載され普及している測位受信機に、測位衛星から防災情報を伝達する手段が検討されている。測位衛星を用いた測位システムは、測位衛星から配信される測位信号をユーザーが所持する測位受信機で受信することで測位を行っている。特に近年、高精度な測位を行うための測位補強信号を配信する測位衛星が運用されており、この測位補強信号を利用して防災情報を配信する手段の検討がなされている。日本では 2018 年から測位衛星のひとつである準天頂衛星システムの運用が開始され、日本の上空に常に準天頂衛星が 1 機以上配置され、日本の多くの地域で常に防災情報を受信することが可能となる。

そこで、本論文では準天頂衛星を介して防災情報を多くのユーザーに提供し、情報空白期における防災情報配信を補完するとともにユーザーの避難支援を行う準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの設計と評価について報告する。なお、設計と評価にあたっては、常に天頂上に 1 機以上の準天頂衛星が配置されている日本国内および、準天頂衛星の信号を配信可能なアジア・オセアニア地域のそれぞれを対象に実施した。

まず、日本国内を対象とした防災情報配信システムの設計を行い、ユーザーの評価によりシステムの有用性を示した。本研究の目的を達成するために、情報空白期における防災情報配信を補完すること、対象災害に対してカスタマイズを行うこと、測位衛星からの情報伝達のため発生する受信損失を

考慮すること及びユーザーの利用までを想定することに着目したシステムの設計を行った。特に、測位衛星を利用した防災情報配信システムにおいて課題となる少ない伝送容量及び受信状況の影響を考慮し、最低限必要な情報を確実に伝達するためのメッセージフォーマット及び配信スケジュールの設計を実施した。また、設計したシステムに対しては、各機能要求に対する検証及びユーザーに対する妥当性確認を実施した。特に、対象となる災害のシナリオに即して配信性を評価した後、準天頂衛星の実信号を使用し受信性の評価を実施した。妥当性確認では、準天頂衛星の実信号を使用し、対象災害である情報空白期の地震・津波災害のシナリオに即したユーザーに対する避難実証実験を実施した。その結果、特に、情報の受信性及びエリア配信性についての妥当性を確認するとともに、行動の誘発性についてシステムの使用により定性的に効果を確認することができた。

次に、アジア・オセアニア地域を対象とした防災情報配信システムの設計を行い、システムの有用性を示した。特にアジアは、日本と同様に地震・津波災害の被災地域であり、また防災情報インフラが日本と比べ整備されていない地域もあり、測位衛星を利用した防災情報配信システムが必要とされている。これらの地域で発生する地震・津波災害はインド洋大津波に見られるように、複数国に影響を及ぼす広域な災害が発生する可能性がある。また、日本と異なり準天頂衛星の配置は時間と場所により変化するため、受信環境も変化する。そこで、日本国内を対象に構築した本システムを日本国外で複数国を対象に使用する際の課題を明らかにするため、複数国を対象とした本システムについて配信性及び受信性の観点から検討を行った。その結果、低仰角エリアであるプーケットにおける受信実験結果から受信性の改善が必要と判断し、準天頂衛星の複数衛星の使用方法を提案した。この使用方法の実現可能性を評価するため、プーケットにおける主要箇所の天空画像及び衛星配置から受信性の予測を行い、複数衛星の使用により受信性が改善される可能性があり、低仰角エリアにおいて複数衛星を利用した本手法が使用可能であることを示した。

これらの成果により、災害時の情報空白期における防災情報配信を補完する準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの有用性を示した。

キーワード(5語)

防災情報配信システム, 準天頂衛星, GNSS, 測位補強信号, 防災情報

SUMMERY OF DOCTORAL DISSERTATION

Student Identification Number	81252015	Name	Daisuke Iwaizumi
-------------------------------	----------	------	------------------

Title:

Design and Evaluation of Early Warning System Using Quasi-Zenith Satellite for Covering Early Warning in Information Blackout Period of Disaster

(Abstract)

This paper discusses the design and evaluation of an Early Warning System using the Quasi-Zenith Satellite System to provide early warnings during an information blackout period, which possibly occur after major disasters.

During major disasters such as big earthquake and tsunami, the communication infrastructures could be damaged in which case essential information cannot be delivered to citizens. Transmitting disaster information through communication satellites, which would not be affected by the damaged information infrastructure on the ground, could be a means of providing disaster information during the information blackout period. Satellite cellular phone is one example of such means. However, these phones have not been widely used among citizens compared to cellular phones and therefore are considered not suitable for transmitting the disaster information to users in wide areas. On the other hand, distributing disaster information to Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers, which are widely used by people in their mobile phones and car navigations, with an augmentation signal from positioning satellites have been considered in previous research. GNSS provides positioning to users utilizing transmission signals, which can be received by GNSS receivers. Recently, GNSS, which can provide augmentation signals to enhance the position accuracy have been operating and a method to transmit simple messages with the augmentation signals have been considered. In Japan, Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) will be operational with a four satellite constellation from 2018 and it will be possible for users to receive the disaster information in many parts of Japan.

This paper shows the design and evaluation of an Early Warning System using the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) in order to provide disaster information and support the evacuation of many people. Firstly, the design and evaluation of the system for use in Japan, where there will be at least one satellite at the zenith, will be discussed and the utility of the system usage for evaluations of users will be shown.

To achieve the objective of this research, the design of the system were done considering information blackout period, customizing by the types of disasters, and the loss rate of signals. In particular, the message

format and distribution schedules to provide the necessary disaster information within the limited available data of a message and reception conditions were designed. Verification and validation for the system requirements were performed. In verification, the evaluation of the delivery within a scenario of a particular disaster and the evaluation of reception with the real signal of QZSS were performed. In validation, an evacuation test with users using a scenario of an earthquake followed by a tsunami were performed. The delivery and reception of the information of the system was validated and the effectiveness in the inducibility of user actions was qualitatively validated.

Signals of QZSS can be also provided in other parts of Asia and Oceania. In particular, Asia is the stricken areas of earthquake and tsunamis. In many areas of Asia, compared to the situation in Japan, an information infrastructure have not been developed yet and GNSS-based Early Warning System are demanded. In Asia, big earthquake and tsunamis, such as Indian Ocean Tsunami, are likely to occur and could affect multiple countries. In addition, the satellite constellation and reception environment also change with the time and location. To investigate the issues of using the system, which was designed for usage in Japan, in other countries, discussions on delivery and receptions were performed. As part of the presented results, the reception experiment in Phuket, where the elevation angle is low, revealed that an improvement in reception is needed for users at this location and the combination of using multiple satellite constellations was proposed. To evaluate the feasibility of the proposed methods, analyses of the reception in Phuket with sky image of several areas in Phuket and estimated satellite positioning were performed. These analysis showed the possibility of improvement in reception and the feasibility of the methods using multiple satellites in areas where the satellites are at low elevation angles for the users.

Key Word(5 words)

Early Warning System, Quasi-Zenith Satellite System, Global Navigation System, Augmentation Signal, Disaster Information

目次

1 章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的と目標	3
1.3 論文の構成	4
2 章 測位衛星を利用した防災情報配信システム	7
2.1 防災情報配信システム	7
2.1.1 既存の防災情報配信システム（日本）	7
2.1.2 既存の防災情報配信システム（国外の例）	10
2.2 測位衛星を利用した防災情報配信システム	13
2.2.1 衛星測位システム	13
2.2.2 準天頂衛星システム	15
2.2.3 測位衛星を利用した防災情報配信システム	20
3 章 日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システム	33
3.1 要求分析	33
3.1.1 ステークホルダの特定	33
3.1.2 対象災害	35
3.1.3 ステークホルダの要求	37
3.1.4 システムの範囲の明確化及びユースケースシナリオ	46
3.1.5 要求図	53
3.1.6 要求の検証識別性	55
3.2 アーキテクチャ設計	60
3.2.1 機能設計	60
3.2.1.1 機能分析	60
3.2.1.2 Functional Flow Block Diagrams (FFBD)	61
3.2.1.3 防災メッセージの受信状況の分析	64

3.2.2	物理設計	69
3.2.2.1	システム構成	69
3.2.2.2	システム構成への機能の配分	71
3.2.2.3	メッセージフォーマット及び配信スケジュールの設計と検討	72
3.2.2.3.1	メッセージフォーマットの設計	73
3.2.2.3.2	配信スケジュールの設計	84
3.2.2.3.3	東日本大震災の事例による検討	89
3.2.2.3.4	受信実験結果の適用による検討	93
3.2.2.3.5	エリア粒度に対する検討	99
3.2.2.4	避難支援情報提供サブシステムの設計	100
3.2.3	システム要求の更新	106
3.3	プロトタイプの実装	110
3.3.1.1	プロトタイプの概要	110
3.3.1.2	防災情報提供部の実装	112
3.3.1.3	避難支援情報提供サブシステムの実装	114
3.4	評価	118
3.4.1	コンポーネント及びサブシステムの検証	118
3.4.2	サブシステムの検証	134
3.4.2.1	避難支援情報提供サブシステムの検証	135
3.4.2.2	防災情報取得提供サブシステムの検証	136
3.4.2.3	受信部の検証	137
3.4.2.4	送信部の検証	138
3.4.3	全体システムの検証	140
3.4.3.1	防災メッセージを使用した避難実験による検証	140
3.4.3.2	避難実証実験による検証	147
3.4.4	避難実証実験による妥当性確認	153
3.4.4.1	避難実証実験による妥当性確認の概要	153
3.4.4.2	避難実証実験方法	154

3.4.4.3 避難実証実験結果.....	158
3.4.4.4 避難実証実験による評価.....	170
4 章 複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システム	178
4.1 はじめに.....	178
4.2 要求分析.....	178
4.2.1 サービスエリア.....	178
4.2.2 ステークホルダの特定.....	181
4.2.3 ステークホルダ要求.....	181
4.2.4 システム範囲の明確化.....	182
4.2.5 システム要求及び要求の検証識別性.....	183
4.3 アーキテクチャ設計.....	188
4.3.1 機能設計.....	188
4.3.1.1 機能分析.....	188
4.3.2 物理設計.....	190
4.3.2.1 システム構成への機能の配分.....	190
4.4 複数国を対象としたシステムにおける課題と検討.....	191
4.4.1 複数国を対象としたシステムにおける課題.....	191
4.4.2 防災メッセージと配信スケジュールの設計と検討.....	191
4.4.2.1 防災メッセージと配信スケジュールの設計.....	191
4.4.2.2 インド洋津波警報システムの訓練による検討.....	194
4.4.2.3 エリア粒度に対する検討.....	198
4.4.3 準天頂衛星の配置による受信性への影響についての検討.....	200
4.4.4 複数の準天頂衛星を利用することによる課題へのアプローチ	205
5 章 研究全体に対する考察.....	215
5.1 日本国内を対象とした本システムに対する考察.....	215
5.1.1 システムの有効性の評価.....	215
5.1.2 実用化に向けて.....	216
5.1.2.1 システム全体について.....	216

5.1.2.2 防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム	217
5.1.2.3 防災メッセージ・位置情報取得部.....	218
5.1.2.4 防災情報取得部.....	218
5.1.2.5 防災情報提供部.....	219
5.1.2.6 避難支援情報提供サブシステム.....	220
5.1.2.7 地震・津波災害以外への適用.....	220
5.1.3 既存の防災情報配信システムとの連携.....	221
5.1.4 屋内での利用.....	223
5.2 複数国を対象とした本システムに対する考察.....	223
5.2.1 システムの有効性の評価.....	223
5.2.2 実用化に向けて.....	224
5.2.2.1 アジア各地域を考慮したシステムの検討.....	224
5.2.2.2 利用者を想定した避難実証実験.....	225
5.2.2.3 サービスエリア.....	226
5.2.2.4 配信スケジュール.....	227
5.2.3 相互運用性.....	228
5.2.4 国際標準化に向けて.....	230
6章 結論.....	232
参考文献.....	236
研究業績.....	246
謝辞.....	248

図表目次

図 1-1	東日本大震災による固定電話及び携帯電話サービス不通地域.....	3
図 1-2	論文の構成.....	6
図 2-1	津波に関する防災情報の住民等への情報伝達 ([13]を参考に著者作成)	8
図 2-2	インド洋津波警報システムのサービスエリア及び CFZ ([15]より著者作成)	11
図 2-3	日本における準天頂衛星の衛星配置	16
図 2-4	準天頂衛星の位置のイメージ ([36]より著者作成)	16
図 2-5	L1-SAIF メッセージブロックのフォーマット	18
図 2-6	GNSS Emergency Service のコンセプト ([40]より著者作成)	24
図 2-7	Allert4All の PDU 構造 ([41]より著者作成)	28
図 2-8	伝送遅れ時間の見積り ([42]より著者作成)	29
図 3-1	ステークホルダの分類 (オニオンスライスモデル)	34
図 3-2	災害の時間的分類.....	36
図 3-3	ユースケース図.....	47
図 3-4	本システムの要求図.....	54
図 3-5	FFBD (Functional Flow Block Diagrams)	63
図 3-6	Enhanced FFBD.....	64
図 3-7	受信実験におけるシステム構成	65
図 3-8	実験時の準天頂衛星の配置	66
図 3-9	みなとみらいエリアにおける防災メッセージ受信状況	68
図 3-10	各ルートにおける防災メッセージ及び L1-SAIF 信号 C/No の時間変化...68	
図 3-11	Point A における天空画像及び準天頂衛星の配置	69
図 3-12	本研究におけるシステム構成	70
図 3-13	本システムの概要図.....	70
図 3-14	本システムのアーキテクチャ図	71
図 3-15	メッセージフォーマット	76

図 3-16	大津波警報のメッセージフォーマットの構造	78
図 3-17	津波情報のメッセージフォーマットの構造	80
図 3-18	震度情報のメッセージフォーマットの構造	82
図 3-19	震源情報のメッセージフォーマットの構造	83
図 3-20	情報の遅れ時間.....	85
図 3-21	情報の配信例（優先度）	86
図 3-22	情報の配信例（繰り返し数）	87
図 3-23	受信確率.....	88
図 3-24	検討するルートの防災メッセージの受信状況	94
図 3-25	受信実験結果の適用による防災情報の受信状況（Route 1-A）	97
図 3-26	受信実験結果の適用による防災情報の受信状況（Route 4-B）	98
図 3-27	プロトタイプシステムのアーキテクチャ	112
図 3-28	防災情報提供部画面仕様.....	113
図 3-29	防災情報提供部の動作手順	113
図 3-30	コンテンツ間のフロー.....	115
図 3-31	避難方向提供部.....	116
図 3-32	避難地図提供部及び津波浸水予測図提供部	117
図 3-33	システムのインテグレーション及び検証	118
図 3-34	防災メッセージの一例.....	121
図 3-35	取得した NMEA 形式のデータの一例.....	125
図 3-36	L1-SAIF 信号の C/No の時間変化	126
図 3-37	防災メッセージ受信状況表示結果	128
図 3-38	新しい防災情報通知結果及び防災情報履歴結果	128
図 3-39	避難方向提供部の検証結果	131
図 3-40	避難地図提供部の検証結果	132
図 3-41	津波浸水予測図提供部の検証結果	133
図 3-42	避難支援情報提供サブシステムのメニュー画面	135
図 3-43	実験エリア	142

図 3-44 防災メッセージの受信状況及び L1-SAIF 信号の C/No (被験者: D)	145
図 3-45 移動履歴及び防災メッセージ受信状況 (被験者: D)	146
図 3-46 防災メッセージ及び防災情報の受信損失率	147
図 3-47 避難実証実験におけるエリア	150
図 3-48 避難実証実験における被験者避難経路及び避難場所	159
図 3-49 情報の受信性及び行動の誘発性のヒアリング結果	164
図 3-50 被験者 F の移動軌跡と防災情報の受信状況	167
図 3-51 累積移動距離	167
図 3-52 詳細情報表示画面結果 (一例) (被験者 F)	168
図 3-53 エリア配信性についてのヒアリング結果 (1/2)	169
図 3-54 エリア配信性についてのヒアリング結果 (2/2)	169
図 4-1 サービス対象国	180
図 4-2 サービス対象国ごとのサービスエリア	180
図 4-3 複数国を対象とした本システムに対するユースケース図	183
図 4-4 複数国を対象とした本システムのアーキテクチャ図	190
図 4-5 配信数の結果	197
図 4-6 タイのプーケットにおける準天頂衛星の衛星配置及び仰角の時間変化	201
図 4-7 実験エリア	202
図 4-8 防災メッセージ受信状況	203
図 4-9 天空画像	204
図 4-10 防災メッセージの受信状況の時間変化	205
図 4-11 各地点における衛星配置	208
図 4-12 各地点における準天頂衛星の仰角の時間変化	208
図 4-13 各地点における準天頂衛星の仰角の時間変化 (仰角順)	209
図 4-14 横浜における天空写真及び衛星配置 (EPOCH:2015.9.1 0:00:00)	210
図 4-15 プーケットにおける天空画像からの準天頂衛星防災メッセージ取得予測図	212

図 4-16 プーケットにおける天空画像からの準天頂衛星防災メッセージ取得予測図	213
図 5-1 既存の防災情報配信システムとの接続を考慮した FFBD	222
図 5-2 Galileo における地上局の配置[80]	229
図 5-3 欧州の GNSS に関する組織 ([81]より著者が作成)	229

表 2-1	代表的な情報伝達手段の特性 ([13]を参考に著者作成)	9
表 2-2	RTSP から提供される防災情報	12
表 2-3	世界各国で整備されている主要な測位衛星の仕様等(2014年6月現在)	14
表 2-4	SBAS の仕様等	15
表 2-5	準天頂衛星システムにおける送信信号一覧[37]	17
表 2-6	L1-SAIF 信号と L1S 信号で送信するメッセージ ([38]と[12]から著者作成)	19
表 2-7	測位衛星を仕様した防災情報システムに対する評価観点	20
表 2-8	MOPS により規定された EGNOS メッセージの帯域利用幅[10]	22
表 2-9	MOPS により規定された EGNOS メッセージの帯域利用幅	23
表 2-10	EGNOS のメッセージフォーマット案[40]	24
表 2-11	Galileo のメッセージフォーマット案[40]	26
表 2-12	EGNOS のノミナルにおけるメッセージ定義	28
表 2-13	MT 62 : 広域緊急メッセージ (一例) [42]	30
表 2-14	関連研究一覧	30
表 3-1	ステークホルダの分類	33
表 3-2	ヒアリング対象機関	43
表 3-3	本システムに対するステークホルダ要求	45
表 3-4	検証方法の定義	56
表 3-5	本システムの RVTM	56
表 3-6	要求と機能の対応	60
表 3-7	防災メッセージ受信実験の実験条件	66
表 3-8	防災メッセージ変換機能及び配信スケジュールについての要求	72
表 3-9	提供する防災情報	75
表 3-10	大津波警報のメッセージフォーマットの内容	78
表 3-11	津波情報のメッセージフォーマットの内容	80
表 3-12	震度情報のメッセージフォーマットの内容	82
表 3-13	震源情報のメッセージフォーマットの内容	83

表 3-14	東日本大震災の事例における検討の設定条件	90
表 3-15	大船渡に対して配信した防災情報の配信回数	91
表 3-16	防災情報の遅れ時間.....	91
表 3-17	検討に使用する防災情報の発表履歴	95
表 3-18	各ルートにおける各防災情報の受信回数及び配信回数の結果.....	96
表 3-19	各エリアに配信するためにかかる時間	100
表 3-20	避難表示機能, 周辺地図表示機能, 危険地域表示機能	101
表 3-21	コンテンツに対する機能割付	103
表 3-22	避難支援情報提供サブシステムの要求項目	104
表 3-23	更新されたシステム要求.....	106
表 3-24	避難支援情報提供サブシステム	114
表 3-25	コンポーネント及びサブシステムの検証結果の一覧.....	119
表 3-26	検証に使用した津波注意報の内容	121
表 3-27	サブシステムの検証結果一覧	134
表 3-28	配信した情報に対する端末画面上への表示結果	137
表 3-29	送信部の検証結果 (防災情報の配信回数)	139
表 3-30	送信部の検証結果 (防災情報の遅れ時間)	139
表 3-31	実験条件.....	143
表 3-32	防災情報の発表履歴.....	143
表 3-33	津波警報・注意報の受信回数	145
表 3-34	バースト欠落の最大時間.....	147
表 3-35	実験時に防災機関から提供される防災情報	150
表 3-36	避難実証実験の実験条件.....	151
表 3-37	津波警報及び大津波警報の受信状況	151
表 3-38	情報確認後のコンテンツ使用状況	151
表 3-39	妥当性確認項目.....	153
表 3-40	避難実証実験時に被験者に配信した防災メッセージの配信数及び	155
表 3-41	避難実証実験の計測項目.....	156

表 3-42	ヒアリング項目.....	157
表 3-43	被験者に関する情報.....	159
表 3-44	ヒアリング結果.....	160
表 3-45	防災情報の受信状況.....	164
表 3-46	更新された津波情報等の情報取得後の行動	166
表 4-1	サービス対象国及びエリア数	179
表 4-2	ステークホルダの分類.....	181
表 4-3	複数国を対象とした本システムに対するステークホルダ要求	182
表 4-4	複数国を対象とした本システムの RVTM	184
表 4-5	要求と機能の対応.....	189
表 4-6	配信する防災メッセージの内容とデータ容量	192
表 4-7	設定条件.....	195
表 4-8	発表される防災情報.....	195
表 4-9	システムが配信した防災情報回数	197
表 4-10	各エリアに配信するためにかかる時間	199
表 4-11	実験条件.....	200
表 4-12	準天頂軌道パラメータ	207
表 4-13	静止軌道パラメータ.....	207
表 5-1	アジアの主要国における携帯電話及びスマートフォン普及率	225

1章 序論

1.1 研究の背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、地震や津波の影響により、通信ビル内の設備の倒壊・水没・流失、地下ケーブルや管路等の断裂・損壊、電柱の倒壊、架空ケーブルの損壊、携帯電話基地局の倒壊・流失などによる通信設備への甚大な被害(図 1-1)や、商用電源の途絶及び蓄電池の枯渇により通信インフラのサービスが停止した[1][2]。また、自治体においても防災行政無線が倒壊・破壊及びバッテリー切れ等により利用できない状況が発生した[3][4]。このようなことから、避難情報、救援・救助情報等の防災情報を伝達する手段が破壊もしくは停止し、必要な情報を取得・伝達することが困難な情報空白期が発生した。被災者へのアンケート結果から、避難するまでの間に津波警報(大津波)を見聞きした人が約35~45%であり、そのうちの約80%の人が避難の必要性を感じている[5]ことから、情報空白期が発生せず、全ての人に津波警報(大津波)が伝わっていれば、被害を縮小させた可能性がある。

そこで、停電や通信インフラの破壊の影響を受けない情報伝達手段の必要性が求められている。また、今回の震災においては、地震発生直後に気象庁から出された地震規模、津波高の予想が実際の地震規模と津波高より下回るものであり、その後、情報が修正されることとなった[6]。このような場合において、避難中の各人に対して、更新された情報を確実に伝達する手段が必要である。このことから、今後の災害に備えるために、情報伝達手段の多重化や情報インフラの耐災害性の向上などの対策が行われており、情報伝達手段のひとつとして、地上の情報インフラの影響を受けない人工衛星を使用した耐災害性の高い情報伝達手段が注目されている。例えば、ワイドスターII、イリジウム、インマルサット及びスラヤなどの衛星移動通信システムは、東日本大震災後には官公庁や自治体等を中心に導入が進み、2012年度末の無線局数は11万局を越えた[7]。また、人工衛星を使用し、同一携帯端末で衛星移動通信と地上移動通信を利用する地上/衛星統合移動通信技術の研究開発も進められており、災害時の情報伝達手段の一つとして期待されている[8]。しかしながら、携帯電話の契約数約1億4294万契約(2014年9月現在)[9]及び世帯普及率94.5%[7]と比べると十分な普及には至っておらず、災害時に多くの人に防災情報を伝達する手段と

しては十分ではない。そこで、携帯電話及びカーナビゲーション等によって広く普及している GNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機に注目し、測位衛星からこれらの受信機を搭載した端末に対して情報を伝達するための研究が国内外で行われている[10],[11].

GNSS は測位航法システムのひとつであり、米国の GPS、ロシアの GLONASS、欧州の Galileo、日本の準天頂衛星等が運用されている。GNSS の利用者は、これらの測位衛星から GNSS 受信機を使用して測位信号を受け取ることで、現在位置を把握する。また、測位衛星システムとして GPS 補強システムの一つである SBAS (静止衛星型衛星航法補強システム) 及び日本の準天頂衛星システム等では、測位を補強するための情報として補強メッセージの配信を行っている。これらの補強メッセージを利用して防災情報を伝達するための検討が国内外で行われており、欧州では SBAS の一つである EGNOS を使用した防災情報の配信についての提案が行われており[10]、日本では準天頂衛星の測位補強信号である L1-SAIF 信号を利用して小容量のメッセージを GNSS 受信機に対して送信するシステムが提案され、実際に準天頂衛星から 212 bits のメッセージを配信し、そのメッセージが GNSS 受信機を介して携帯電話に表示されることが確認されている[11]。また、2018 年度よりサービスが開始する予定である実用準天頂衛星システムでは、防災情報を配信するサービスとして災害・危機管理通報サービスが予定されており、現在その検討が進められている[12].

このように、測位衛星を利用した防災情報伝達は、災害発生時に情報インフラが破壊や停止される情報空白期において、小容量でありながら必要最低限の防災情報を個人の GNSS 受信機を搭載した携帯電話に送ることにより、多くの人の避難に繋がると期待できる。

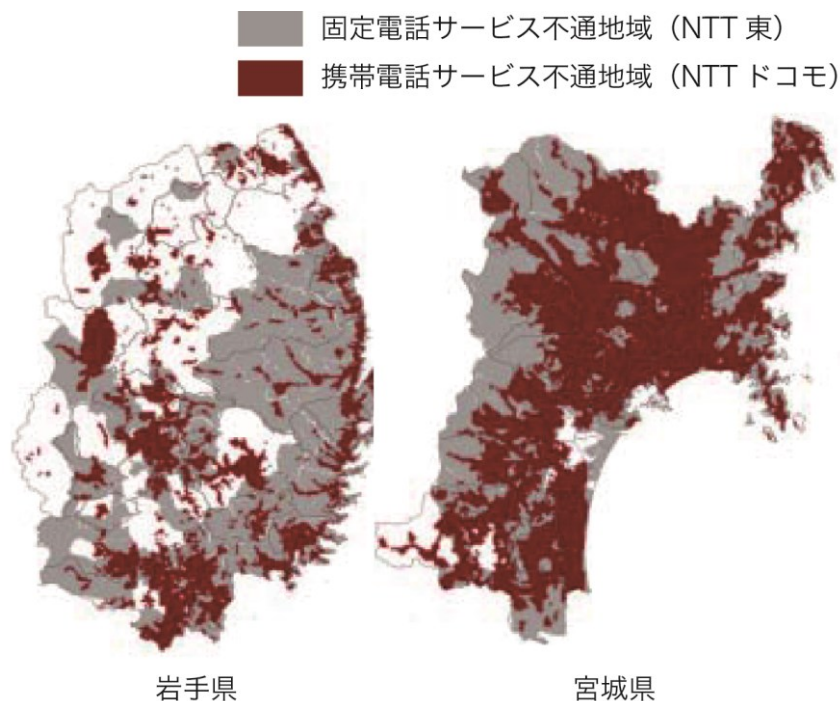


図 1-1 東日本大震災による固定電話及び携帯電話サービス不通地域

「東日本大震災における通信の被災状況，復旧等に関する取り組み状況」（総務省）
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/kentokai/kinoukakuho/2/pdf/1.pdf> を基に著者作成[2]

1.2 研究の目的と目標

測位衛星を利用した防災情報伝達方法は，情報インフラの影響を受けることなく，小容量でありながら必要最低限の防災情報を多くの人に届けることが可能である。本研究では，情報空白期における防災情報配信を補完するとともにユーザーの避難支援を行うために，準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計し，その有効性を評価することを目的とする。

準天頂衛星は主に日本国内での測位補完及び測位補強のために設計されている。このため，日本国内では準天頂衛星が軌道上で3機以上運用されている体制において，常に1機以上の衛星が天空上に配置する様に設計されており，都市部や山間部を含んだ日本の多くの地域において，利用者は準天頂衛星からの信号を受け取ることが可能である。つまり，日本国内に対して常時準天頂衛星から防災情報を提供することが可能である。そこで本研究では，まず日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計し，

その評価を行った。

また、準天頂衛星の信号は日本国内だけでなく、アジア・オセアニア地域にも配信が可能である。特にアジアでは、日本と同様に地震・津波災害の被災地域であり、また防災情報インフラが日本と比べ整備されていない地域もあり、測位衛星を利用した防災情報配信システムが必要とされている。さらに、これらの地域で発生する地震・津波災害はインド洋大津波に見られるように、複数国に影響を及ぼす広域な災害が発生する可能性がある。そこで、日本国内を対象として設計した準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを日本国内以外で複数国を対象に使用する際の課題を明らかにし、複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計し、その評価を行った。

1.3 論文の構成

本論文の構成を図 1-2 に示す。

第 1 章の序論では、本研究の背景を述べた後、本研究の目的について示す。

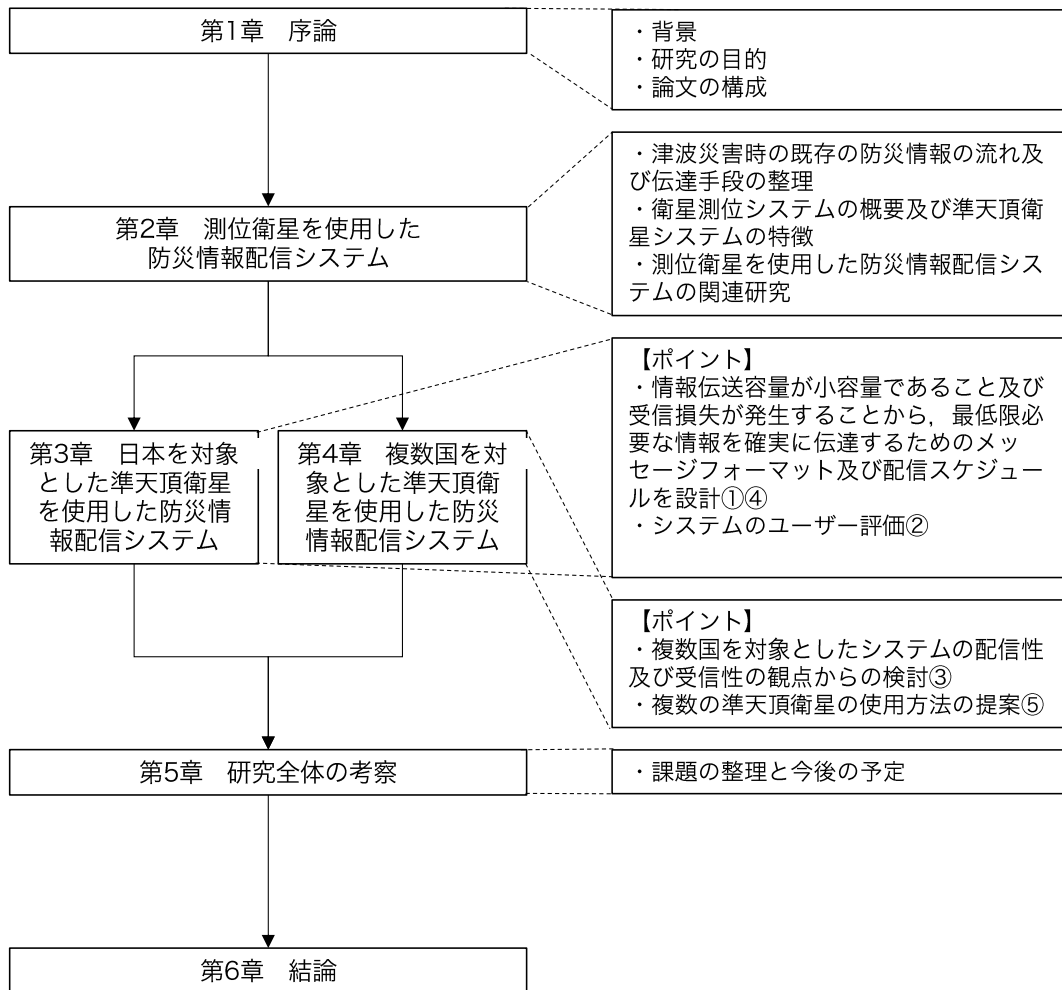
第 2 章では、既存の防災情報配信システムについて、特に津波災害時における情報の流れ及び使用されている伝達手段について整理する。また、本提案で使用する衛星測位システムの概要及び準天頂衛星システムの特徴を述べた後、測位衛星を利用した防災情報配信システムの関連研究について整理し、本研究位置づけについて述べる。

本論文は準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの構築を行うが、使用する準天頂衛星は日本国内を対象に設計が行われており、現状日本の上空に常に 1 機の準天頂衛星が配置するよう設計されている。このため、日本国内の多くの地域に常に防災情報を配信することが可能である。このため、日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの構築及びその評価について 3 章で述べる。ここでの新規性は、測位衛星を利用した防災情報配信において課題となる少ない伝送容量及び受信状況の影響を考慮し、伝達性を向上するためのメッセージフォーマット及び配信スケジュールの設計を行った点である。特に、対象となる災害のシナリオに即して、配信性の評価及び受信実験による受信性の評価の後、避難実証実験により、準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの有用性についての評価を実施した。

また、準天頂衛星を利用した防災情報配信システムのニーズは国外にもあり、特に準

天頂衛星システムのサービスエリアであるアジア地域では、インド洋津波などの大規模な津波災害が発生する地域でもある。そこで、日本国外での利用として、複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの構築について第4章で述べる。ここでの新規性は、複数国で利用するための課題を明らかにし、特に準天頂衛星の複数衛星の利用により、伝達性のうち確達性及び速報性の向上を行った点である。

第5章では研究全体の考察を行い、最後に第6章で本論文の結論と今後の展開について述べる。



- ① 準天頂衛星補強信号を利用した広域防災情報配信手法の設計と情報伝達性の評価, 電子情報通信学会論文誌, B Vol.J97-B, No.11, pp.1043-1060, Nov 2014.
- ② 準天頂衛星補強信号を利用した防災情報配信システムの受信性・行動誘発性・エリア配信性のユーザー評価, 地域安全学会論文集, No.24, pp.21-31, Nov 2014.
- ③ Improvement of Reception and Transmission Performance on Early Warning System for Multi Country with QZSS Augmentation Signal, Journal of Disaster Research, Vol.10, No.2 (掲載決定済)
- ④ GNSS-based Emergency Message Service: Lessons learned and Future Prospects, 7th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference 13th Signal Processing for Space Communications Workshop, Livorno, Italy, Sep 2014
- ⑤ Improvement of Reachability and Promptness of an Augmentation-Signal-Based Emergency Warning Broadcasting System Using Multiple Satellites of the QZSS Constellation, Proceedings of 2014 International Conference on Future Computational Technologies, Singapore, Mar 2015 (発表決定済)

図 1-2 論文の構成

2章 測位衛星を利用した防災情報配信システム

2.1 防災情報配信システム

2.1.1 既存の防災情報配信システム（日本）

準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを議論する上で、既存の防災情報配信システムについて、その調査及び分析を行った。本項では、特に現在の津波災害時の情報伝達の仕組みについて述べる。図 2-1 に津波に関する防災情報の住民等への情報伝達を示す [13]。津波情報災害については、気象庁及び市町村から発表される防災情報を各機関及び事業者が各情報伝達手段を用いて配信を行っている。各情報伝達手段の特性については、表 2-1 に示す。東日本大震災後では、これらの手段を個別に考えるのではなく、迅速かつ確実な避難を可能とするため、情報伝達手段の強化・多様化が重要と考えられている。また、多くの人々が携帯電話を所持していることから、携帯電話を活用した情報伝達も重要である。また、ここにあげている情報伝達手段以外にも、SNS やコミュニティ FM などの利用が考えられている。

これらの既存の防災情報伝達手段に対して、本研究で対象とする測位衛星を利用した防災情報伝達は、測位衛星により配信することのできる情報容量が少ないことから、伝達情報量が低い。また、衛星を利用した情報伝達であることから広域での配信となるが、位置情報を使用することによりエリアに即した情報を提供することは可能である。しかしながら、情報容量の制約から、市町村レベルの地域性になると考えられる。また、伝達速度については、衛星を介して利用者に提供するまでの時間差はあまりないが、情報容量の制約から、配信する情報の種類や量によっては時間がかかることが予想される。しかしながら、利用者に文字等で伝達することが可能であり伝達は正確であり、衛星により広域に情報が配信される。また、衛星から提供する情報については、精査された情報であるため、情報の信頼性は高い。なお、測位衛星を利用した情報伝達では、GNSS 受信機により受信することが可能であるため、国内においては将来的に多くの携帯端末で受信可能であることから、普及率は高い。また、このような多様な情報伝達手段に対して、情報発信者が一回のデータ入力で多様なメディアや情報端末に一元的に情報発信できるようにする役割として公共情報コモンズの取り組みもなされている [14]。

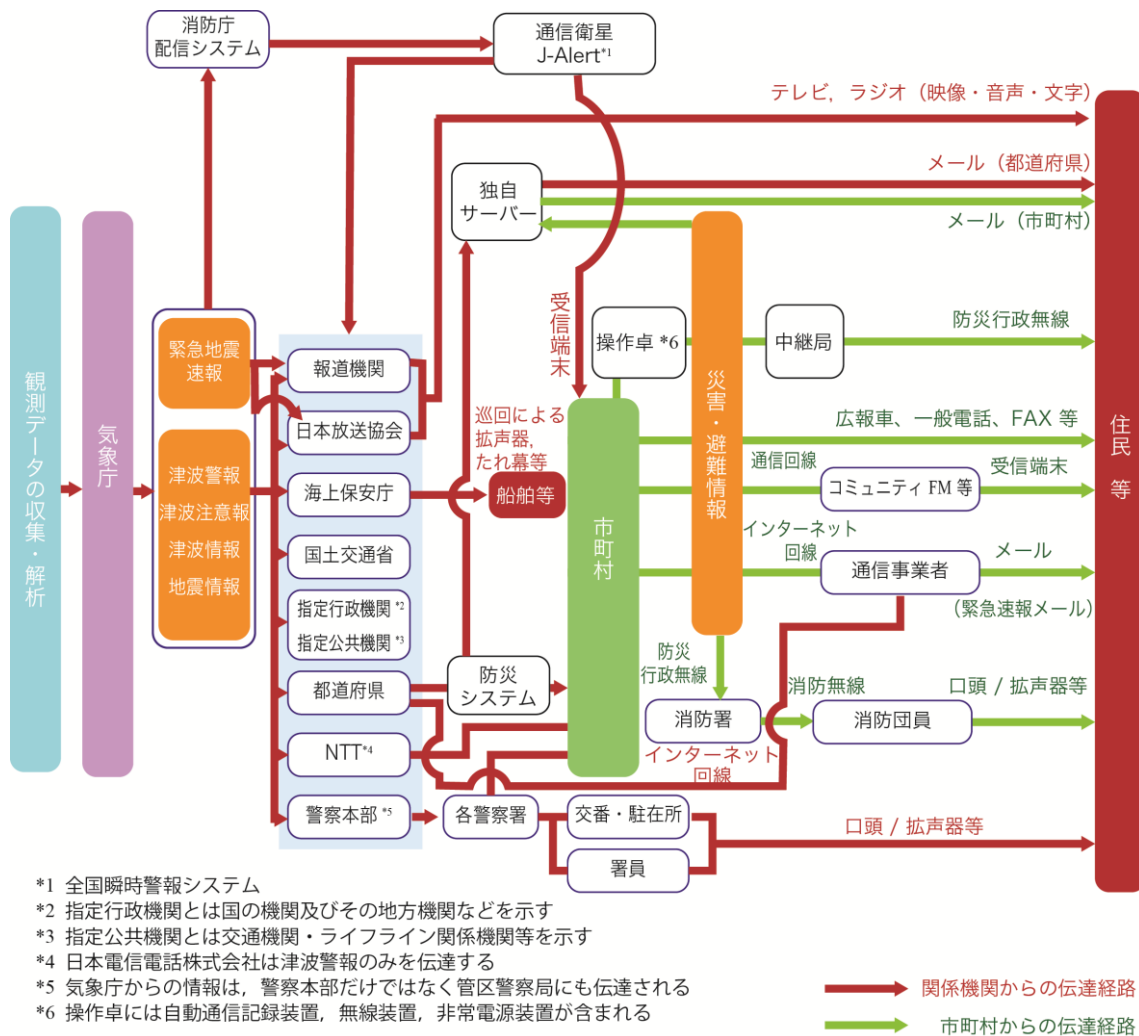


図 2-1 津波に関する防災情報の住民等への情報伝達 ([13]を参考に著者作成)

表 2-1 代表的な情報伝達手段の特性 ([13]を参考に著者作成)

	伝達情報量*1	伝達速度*2	伝達の正確さ*3	伝達範囲*4	地域性*5	災害時の信頼性*6	普及率
防災行政無線（屋外）	○ 内容の正確な聞き取り困難	◎	○ 情報量や環境条件に依存	◎ 設置箇所依存，難聴地域有	○	◎ 非常電源による	同報系： 76.3% (2011年3月末)
防災行政無線（戸別）	◎		◎	△ 端末設備保有に限定		◎ 非常電源による	同上
サイレン・半鐘	△ 信号による警報のみ	◎	◎ 信号の意味の周知	◎	△	◎	-
テレビ・ラジオ	◎ 音声・映像が使用可能		◎	◎	△	◎ 携帯型ラジオは災害時も機能	-
有線放送・有線テレビ（CATV）			◎	△ 端末設備保有に限定	○ 自主放送の場合地域性高い	△ ケーブルの断線や停電の問題	-
広報車	○ 聞き取り困難	△ 目的地の到達・周回による遅延	○ 情報量，環境条件，運行速度に依存	○ 走行コース沿い以外は聞こえない。	○ 移動により，地域ごとに伝達内容変更可	△ 道路状況に依存	-

	伝達情報量*1	伝達速度*2	伝達の正確さ*3	伝達範囲*4	地域性*5	災害時の信頼性*6	普及率
消防・消防団員等による口頭伝達	○	△	○ 伝達内容が変容する可能性あり、事前の訓練が必要	○ 掌握範囲に限定	◎	◎	-
固定電話	○	△		◎		△ 輻輳やケーブル断線の問題	85.8 % (2010年末)
携帯電話(緊急速報メール)	○ 文字による送信が可能	◎	◎	△ 対応機器の所持が必要	○ 送信するエリアを選択可能		93.2 % (2010末) * PHSを含む
測位衛星	△	○	◎	◎	△	◎	93.2 % (平成2010年末) * PHSを含む

*1 ◎：大，○：中，△：小，*2 ◎：速，△：遅，*3 ◎：正確，○：やや正確，

*4 ◎：広，○：中，△：狭，*5 ◎：地域，○：市町村，△：広域

*6 ◎：有，△：無

2.1.2 既存の防災情報配信システム（国外の例）

本研究では、日本国外での複数国における利用も考えている。このため、対象となるアジア地域、特にインド洋における津波警報の仕組みについて紹介する。

インド洋津波警報システムは、2011年に運用が始まった津波警報システムであり、オーストラリア気象局（BoM: Bureau of Meteorology）、インド国立海洋情報センター（INCOIS: Indian National Center for Ocean Information Services）、インドネシア気象・気候・地球物理庁

(BMKG: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) の 3 機関が津波警報に関する情報を発表している[15][16][17]. これら 3 機関は, RTSP (Regional Tsunami Service Provider) と呼ばれ, 各機関がそれぞれの情報を各国の National Tsunami Warning Centers (NTWCs) に提供し, NTWCs は各国のシステムに応じて各国のユーザーに対して防災情報を提供している.

インド洋津波警報システムでは, 海岸線に約 100 km , 幅約 50 km の長方形の CFZ (Coastal Forecast Zones) を設定し, 各 RSTP これらの CFZ に対して情報の発表を行う. 図 2-2 にインド洋津波警報システムのサービスエリア及び設定された CFZ の領域を示す. 情報の配信国 (地域) として 2014 年 10 月現在, 29 カ国 (地域), 569 の CFZ を対象としている.

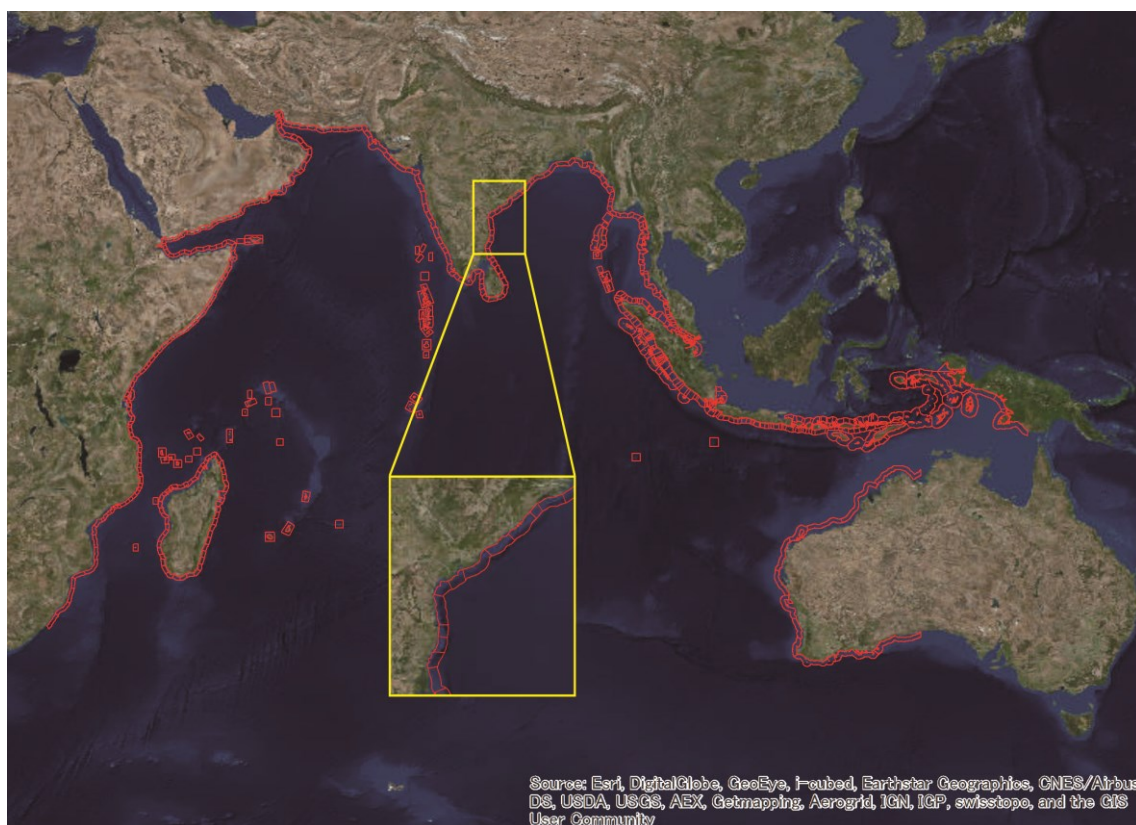


図 2-2 インド洋津波警報システムのサービスエリア及び CFZ ([15]より著者作成)

表 2-2 RTSP から提供される防災情報

No.	Bulletin Type	内容
1	Bulletin Type 1 Earthquake Bulletin	Earthquake info (Magnitude, Depth, Origin time, latitude, Longitude, Location)
2	Bulletin Type 2 Potential Threat	Earthquake info, Tsunami threat, Estimated tsunami arrival times and heights
3	Bulletin Type 3 Confirmed Threat	Earthquake info, Evaluation*1, Tsunami threat Estimated tsunami arrival times and heights
4	Bulletin Type 4 Final Bulletin	

*1 Sea level observation has confirmed that a TSUNAMI GENERATED.(Location, Latitude, Longitude, time, maximum wave amplitudes observed)

RTSPs は、表 2-2 に示す 4 種類の警報を公表する。Bulletin Type 1 は地震情報についての警報であり、地震の発生した時間、震源の位置、深さ及びマグニチュードを提供する。Bulletin Type 2 は最初の津波予測を提供する警報であり、各 CFZ に対して津波の脅威の有無及び津波の予測高さ、津波の到達時刻を提供する。特に到達時刻については、最初の津波が到達する時刻、50 cm 以上の津波が最初に到達する時刻、最大の津波が到達する時刻、50 cm 以上の最後の津波が到達する時刻の 4 種類を公表する。なお、Bulletin Type 2 発表時には、Bulletin Type 1 で提供された地震情報についても発表する。この際に情報が更新された場合については、更新された情報を発表する。Bulletin Type 3 は津波予測及び観測情報である。津波予測については、Bulletin Type 2 と同様である。観測情報については、位置、高さ、時刻を公表する。なお、Bulletin Type 3 においても、地震情報を同様に発表する。Bulletin Type 4 は津波警報の終わりを告げる警報となる。

2.2 測位衛星を利用した防災情報配信システム

本項では、防災情報の配信に使用する測位衛星について概要を紹介した後、本研究で対象とする準天頂衛星についての概要を説明する。その後、測位衛星を利用した防災情報配信システムの関連研究について述べる。

2.2.1 衛星測位システム

衛星測位システムは、測位システムのひとつであり、ユーザーの位置の特定を行うシステムである。ユーザーは自分の位置を知るために、所持する受信機によって4つの測位衛星から信号を受信し、測位衛星とユーザーとの距離を測定しこの測距データをもとに位置と時刻を取得する。衛星測位システムは正しくは地球的衛星測位システム（GNSS: Global Navigation Satellite System）と呼ばれ、米国のGPSに代表されるような複数の衛星で構成される測位システムを指す。またGNSSには、日本の準天頂衛星に代表されるようにある一部の地域を対象とする地域的衛星測位システム（RNSS: Regional Navigation Satellite System）、また、静止衛星を用いてGPSの誤差を補正する技術である静止衛星型衛星航法補強システム（SBAS: Satellite-Based Augmentation System）がある。

GNSSは現在、米国のGPS、ロシアのGLONASS、欧州のGalileo、中国のBeidouがあり、表2-3で示される仕様で運用されている。RNSSは日本の準天頂衛星1機が運用されており、インドのIRNSSが現在開発中である。SBASは、日本のMSAS、欧州のEGNOS、米国のWAAS、インドのGAGAN、ロシアのSDCMが表2-4で示される仕様で運用されている。このように、全世界でGNSSの運用が行われており、2020年までにGNSS衛星は世界中で130機を超えると試算されている[18]。

表 2-3 世界各国で整備されている主要な測位衛星の仕様等(2014年6月現在)

名称	GPS [19][18]	GLONAS[20][21][22][23][24]	Galileo[25][26][27]	Beidou[28][29]
国名	米国	ロシア	欧州	中国
運用機数	32	24* ¹	4	15 (5GEO/5IGSO/5MEO)
軌道平面数	6	3	3	3 (MEO)
傾斜角	55	64.8	56	55 (MEO)
軌道高度	20,200 km	19,110 km	23,222 km	35,786 km (GEO・IGSO) 21,528 km (MEO)
周期	12 h	11 h 15 min	14 h	12 h 55 min (MEO)
信号方式	CDMA	FDMA/CDMA	CDMA	CDMA
送信信号数	8 (L1C/A,L1P,L1M,L1C,L2C,L2P,L2M,L5)	9 (L1OF,L1SF,L2OF,L2SF,L1OC* ² ,L1SC* ² ,L2OC* ² ,L2SC* ² ,L3OC* ³)	4 (E1, E5a, E5b, E6)	2
中心周波数	L1	1575.42 MHz	1600.995 MHz* ⁴	-
	L2	1227.6 MHz	1248.06 MHz* ⁵	-
	L3		1202.025 MHz* ²	-
	L5	1176.45 MHz	-	-
	LEX		-	-
	E1			1575.420 MHz
	E5a			1176.450 MHz
	E5b			1207.140 MHz
	E6			1278.750 MHz
	B1I			
B2I				1207.140 MHz

* 1 Total 30 (うち, Operational:24, In commissioning phase:1, Under check by the Satellite

Prime Contractor:2, Spare:2, In flight test phase:1) *2 GLONASS-K2 のみ

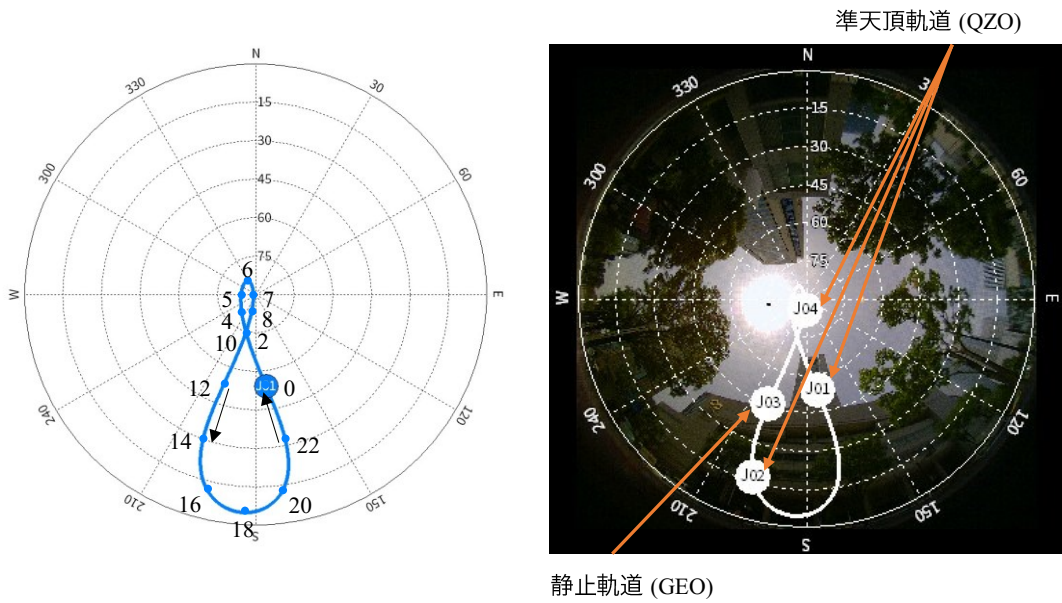
*3 GLONASS-K, GLONASS-K2, GLONASS-M のみ *4 L1SC, L1OC *5 L2SC

表 2-4 SBAS の仕様等

システム名称	MSAS[30]	EGNOS[31]	WAAS[32]	GAGAN[33]	SDCM[34]
国名	日本	欧州	米国	インド	ロシア
運用衛星数	2	3	3	2	2
対象	航空用	航空用	航空用		
サービスエリア	日本	欧州及びその周辺国	北米	インド	ロシア
周波数帯	L1 (1575.42 MHz)	L1 (1575.42 MHz)	L1 (1575.42 MHz) L5 (1176.45 MHz)	L1 (1575.42 MHz) L5 (1176.45 MHz)	L1 (1575.42 MHz)

2.2.2 準天頂衛星システム

準天頂衛星システム（QZSS:Quasi Zenith Satellite System）は RNSS のひとつであり、日本の衛星測位システムである。2014 年現在、初号機である「みちびき」が技術実証、利用実証とともに運用されている。準天頂衛星システムは、2018 年度のサービス運用を計画しており、サービス開始時には 3 機の準天頂軌道（QZO:Quasi Zenith Orbit）衛星及び 1 機の静止軌道（GEO: Geostationary Earth Orbit）衛星から構成される[35]。図 2-3 a）は、日本から見た 1 機の QZO 衛星が描く 1 日の軌道を示しており、各数字は時刻を示している。QZO 衛星は 8 の字の準天頂軌道を描き、日本の天頂付近に約 8 時間配置される。図 2-3 b）は、4 機体制時の準天頂衛星の位置を示しており、3 機の QZO 衛星が代わる代わる日本の上空に配置することにより、常に 1 機の衛星が日本の上空に配置することとなる。このことから、図 2-4 に示すように、ビルや山間部なども含め日本の多くの場所で準天頂衛星からの信号を受信することが可能である。



a)日本上空の QZO 衛星 1 機 の 1 日の軌道 b) 4 機体制時の準天頂衛星の衛星配置

図 2-3 日本における準天頂衛星の衛星配置

(2025.9.1.0:00(UTC)におけるノミナル軌道により計算)

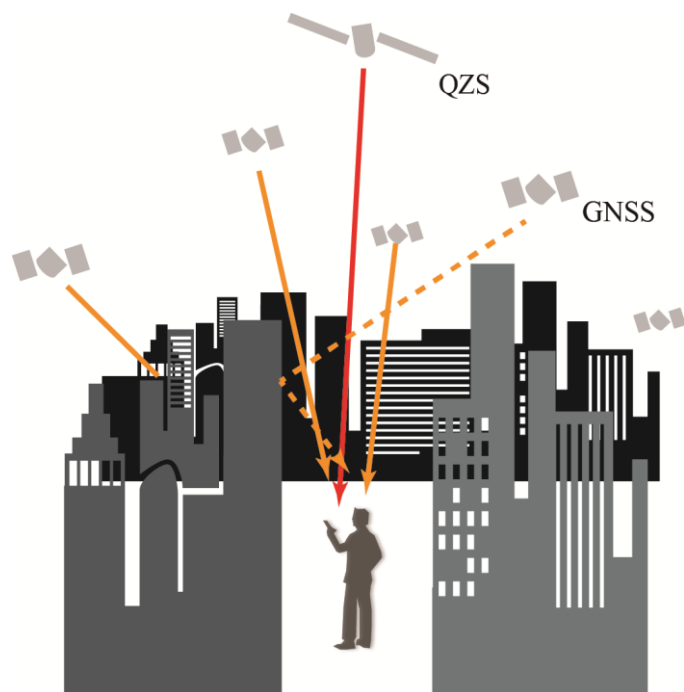


図 2-4 準天頂衛星の位置のイメージ ([36]より著者作成)

表 2-5 準天頂衛星システムにおける送信信号一覧[37]

信号名称	中心周波数	配信サービス
L1C/A	1575.42 MHz	衛星測位サービス (GPS 補完)
L1C		
L1S (L1-SAIF)		サブメータ級測位補強サービス (GPS 補強)
L2C	1227.60 MHz	衛星測位サービス (GPS 補完)
L5	1176.45 MHz	
L5S*1		測位技術実証プラットフォームサービス
L6	1278.75 MHz	センチメータ級測位補強サービス (GPS 補強)
S バンド*2	2 GHz 帯	衛星安否確認サービス

準天頂衛星システムは、GPS の補完・補強する 2 つのサービスを提供することを目的として計画された。GPS 補完サービスは、米国の GPS と組み合わせ、QZO を利用して衛星の幾何学的配置を改善することにより、都市部や山間部における測位可能エリア・時間を増大させるとともに、GPS 近代化相当の民生用測位信号 (L1/CA 信号, L1C 信号, L2C 信号及び L5 信号) を送信して、測位精度の向上を目指す。また、GPS 補強サービスは、L1-SAIF 信号及び LEX 信号などの補強信号を準天頂衛星から送信し、測距補正情報の送信による高精度化、ヘルス情報の通知や故障判定による高信頼性化及び GPS 衛星の補足支援情報等をユーザーへ通知してユーザーの利便性の向上に寄与する[35]。特に、GPS 補強サービスは、運用時にはサブメータ級測位補強サービス及びセンチメータ級測位補強サービスとして提供される。また、運用時には L1-SAIF 信号は L1S 信号、LEX 信号は L6 信号として送信される。表 2-5 に運用時に送信される信号及びその配信サービスについて示す[37]。

L1-SAIF 信号及び L1S 信号は、GPS の L1 周波数と同じ周波数であり、L1C/A と同様の変調方式で放送される。このため、GPS と同一のアンテナ及び受信回路で受信することが可能である。L1-SAIF 信号は 250 bits から構成され、図 2-5 のフォーマットを持つ。データ速度は 250 bps であり、毎秒 1 個のメッセージが送信される[38][39]。配信されるメッセージは、表 2-6 に示される通りであり、6 bits のメッセージタイプで指定されたメッセ

ーが 15 bit から 212 bits のデータ領域で配信される。なお、この配信されるメッセージについては、表 2-6 の通り、初号機みちびきで L1-SAIF 信号により定義されていたメッセージから、実用準天頂衛星システムでは、LIS 信号として一部変更されている。また、実用準天頂衛星システムではサブメータ級測位補強サービスのメッセージの一つとして、防災情報を提供するサービスが災害・危機管理通報サービスとして提供される[12]。

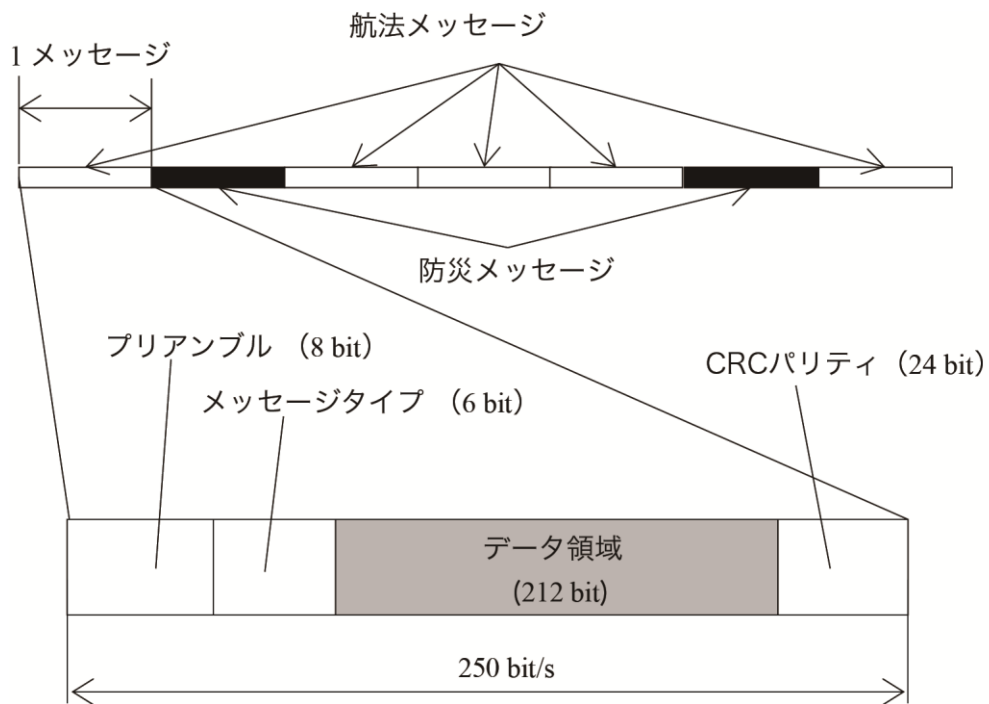


図 2-5 L1-SAIF メッセージブロックのフォーマット

表 2-6 L1-SAIF 信号と L1S 信号で送信するメッセージ ([38]と[12]から著者作成)

メッセージ タイプ ID	L1-SAIF 信号	L1S 信号
0	試験モード	試験モード
1	PRN マスク	PRN マスク
2~3	高速補正	高速補正
4~5	高速補正	未使用
6	インテグリティ情報	未使用
7	(高速補正劣化係数)	未使用
10	劣化係数	未使用
12	タイミング情報	未使用
18	IGP マスク	未使用
24	復号高速/長期補正	未使用
25	長期補正	長期補正
26	電池層伝搬遅延補正	電池層伝搬遅延補正
28	クロック-軌道共分散	未使用
40~42	利用実証用に予約 (L1-SAIF + 固有メッセージ)	未使用
43~44	利用実証用に予約 (L1-SAIF + 固有メッセージ)	災危通報
45~49	利用実証用に予約 (L1-SAIF + 固有メッセージ)	未使用
50	利用実証用に予約 (L1-SAIF + 固有メッセージ)	DGPS 補正
51	利用実証用に予約 (L1-SAIF + 固有メッセージ)	未使用
52	TGP マスク	未使用
53	対流圏遅延補正	未使用
54~55	(大気遅延補正)	未使用
56	信号バイアス補正情報	未使用
57	(軌道情報用に予約)	未使用
58	QZO エフェリメス	未使用
59	QZO アルマナック	未使用
60	(広域情報・メンテナンス情報)	未使用
62	内部テスト用に予約	未使用
63	ヌルメッセージ	ヌルメッセージ

表 2-7 測位衛星を仕様した防災情報システムに対する評価観点

番号		内容	例
1	フェーズ	コンセプト検討	測位衛星の測位補強信号の使用の可否
2		詳細検討（机上）	防災情報を伝達するための小容量の伝送容量の使用方法の検討
3		実証	実信号を伴った実験及び検討
4	条件	情報空白での使用	
5		対象災害に対するカスタマイズ	
6		受信損失の考慮	
7		ユーザーの利用までの想定	

2.2.3 測位衛星を利用した防災情報配信システム

本研究において設計するシステムは準天頂衛星を介して防災情報を多くのユーザーに提供し、情報空白期における防災情報配信を補完するとともにユーザーの避難支援を行う準天頂衛星を利用した防災情報配信システムである。そこで、目的とするシステムの既存研究における位置づけを明確にするため、測位衛星を利用した防災情報配信システムの既存研究について分析する。分析を行う上での評価観点を表 2-7 に示す。

評価観点は、大きくフェーズと条件の 2 項目を考える。フェーズは、システムの実用を考える上でのフェーズを示しており、コンセプト検討、詳細検討、実証の 3 段階とした。

コンセプト検討は、防災情報を配信するシステムとして測位衛星を利用するというコンセプトまでの検討を示しており、使用可能性の検討までを含める。

詳細検討（机上）は、測位衛星を利用して防災情報を配信するために実施する机上検討を示しており、測位衛星の測位補強信号を情報の伝達手段として使用する場合、その伝送容量が小容量であるため、その容量を効果的に使用するための検討などが該当する。

実証については、測位衛星から防災情報を提供する上で、実際に信号を使用した実証実験を示す。

条件については、本研究の目的を達成するために測位衛星を利用した防災情報配信システムが考慮すべき条件を示しており、情報空白での使用、対象災害に対するカスタマイズ、受信損失の考慮及びユーザーの利用までの想定 の 4 項目とした。

情報空白期での使用は、本研究において設計するシステムは大規模災害時に情報インフラ等が破壊される情報空白期においても最低限の情報を提供することを考えている。つまり、情報空白期に本研究において設計するシステムのみを使用して最低限の情報を提供する必要がある。

対象災害に対するカスタマイズについては、災害により情報を提供するエリア、各機関より発表される防災情報の発表間隔及びユーザーが避難を行うまでの猶予時間等が異なる。このため、実災害を想定した上でのシステムの構築が必要となる。

受信損失の考慮は、衛星を利用した防災情報配信の場合、衛星と情報をユーザーが所持する受信端末との間が遮蔽された場合、信号が損失し情報を取得することができなくなる。これは、詳細検討にも関わるが、受信損失が発生することを考慮した上で小容量の伝送容量をどのように使用するか、情報空白期での使用を考えた場合、他の情報伝達手段での補足を考慮すべきではないため、受信損失が発生した上で、必要最低限の情報を提供する方法を考える必要がある。

ユーザーの利用までの想定は、本研究において設計するシステムは単に防災情報を送信することだけでなく、ユーザーにどのように情報が伝達されるか、その情報がどのように利用され、ユーザーの避難支援に繋がるかを検討する必要がある。

J.Ventura ら[10]は SBAS 衛星のひとつである EGNOS を使用した防災情報の提供及び捜索救助のコンセプトとして The ESA ALIVE (Alert interface via EGNOS) を提案し、EGNOS を使用した防災情報の提供及び捜索救助のミッション提案、EGNOS を使用した場合の通信の機能コンセプトの検討及びアーキテクチャの検討を実施した。特に、通信の機能コンセプトの検討においては、表 2-8 に示す RTCA (US Radio Technical Commission for Aeronautics) により規定されている DO229C MOPS (Minimum Operational Performance Standard) standard のメッセージを使用した試算を行っており、MT0 が不要となるか、MT2 と統合される想定において 3~4 秒に 1 メッセージを防災メッセージとして配信可能であることを確認している。また、2000 年より GPS の SA (Selective Availability) が解除されたことにより、表 2-9 に示すとおり、高速クロック補正に係る MT2 ~ 5 及び MT24 が 6 秒毎から 60 秒毎に緩和されたことにより、防災メッセージは 2 秒に 1 メッセージ配

信できる可能性があるとしている。また、米国の WAAS、日本の MSAS、欧州の EGNOS を連携することによる広域性、位置情報を同時に取得できること、耐災害性、受信機の共通性、SBAS の完全性、短期間での実装、公共団体による運営、長いライフサイクルなどの観点から SBAS を使用した防災メッセージが有用であると述べている。

表 2-8 MOPS により規定された EGNOS メッセージの帯域利用幅[10]

Message Type	Maximum Update Interval	Number of Message Transmitted over ECAC	% BW repuired over ECAC
MT 0	6	0	0
MT 1	120	1	0.83
MT 2 or MT 0 / 2	6	1	16.67
MT 3	6	1	16.67
MT 4	6	0	0.00
MT 5	6	0	0.00
MT 6	6	0	0.00
MT 7	120	1	0.83
MT 9	120	1	0.83
MT 10	120	1	0.83
MT 12	300	1	0.33
MT 17	300	1	0.33
MT 18	300	4	1.33
MT 24	6	1	16.67
MT 25	120	4	3.33
MT 26	300	18	6.00
Free BW			35.34 (75 bps)

表 2-9 MOPS により規定された EGNOS メッセージの帯域利用幅
(高速クロック補正緩和) [10]

Message Type	Maximum Update Interval	Number of Message Transmitted over ECAC	% BW required over ECAC
MT 0	6	0	0
MT 1	120	1	0.83
MT 2 or MT 0 / 2	60	1	1.67
MT 3	60	1	1.67
MT 4	60	0	0.00
MT 5	60	0	0.00
MT 6	6	1	16.67
MT 7	120	1	0.83
MT 9	120	1	0.83
MT 10	120	1	0.83
MT 12	300	1	0.33
MT 17	300	1	0.33
MT 18	300	4	1.33
MT 24	60	1	1.67
MT 25	120	4	3.33
MT 26	300	18	6.00
Free BW			63.68 (140 bps)

MLUTB (Multi-constellation Land Users Test Bed) プロジェクトの EGEP (European Evolution Programme) プログラムでは, 図 2-6 に示す通り災害時に防災情報を EGNOS 及び Galileo を使用しユーザーに提供することを検討している. この中で, M.Wallner [40]らは EGNOS 及び Galileo を使用した場合のメッセージフォーマットとして, 表 2-10 及び表 2-11 を提案した. 提案したメッセージフォーマットは, 配信エリアを中心座標及び半径を指定した円で規定し, 511 種類までの災害情報を規定している.

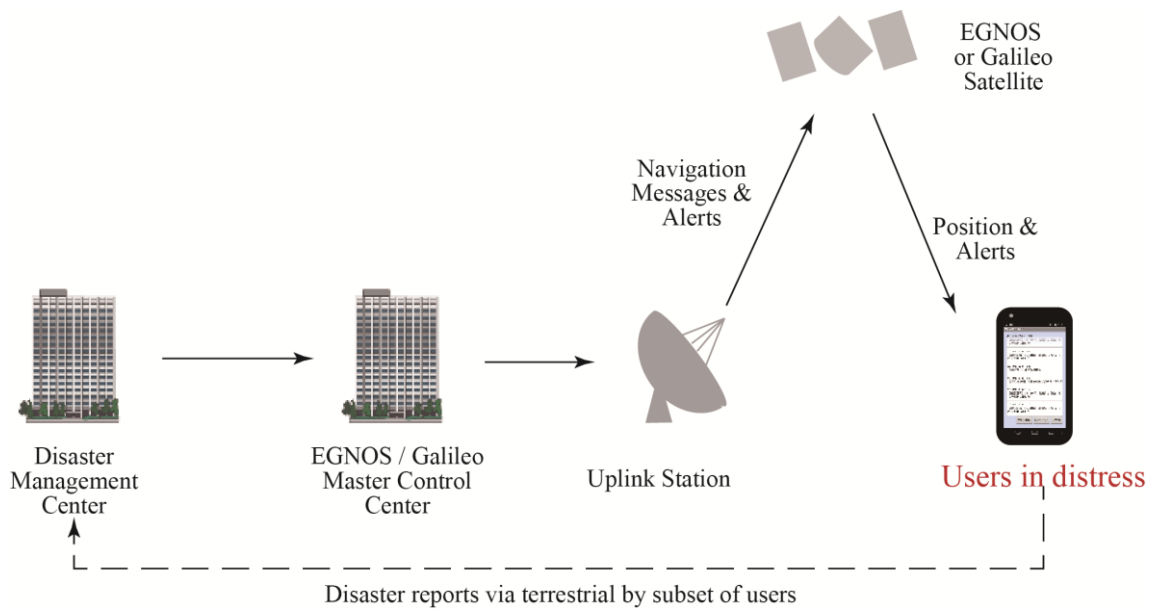


図 2-6 GNSS Emergency Service のコンセプト ([40]より著者作成)

表 2-10 EGNOS のメッセージフォーマット案[40]

Field	Sub-field	Units	Description	Range	Size (bits)	
Preamble	---	N/A	See [RD-3]	N/A	8	8
Message type	---	N/A	Used to select the priority level of the alarm	60,62	6	6
Geographical Criteria	Latitude_NS	N/A	Latitude North or South	0-1	1	42
	Latitude_D	Degrees	Latitude degrees	0-89	7	
	Latitude_M	Minutes	Latitude minutes	0-59	6	
	Latitude_F	Frac. of minutes	Latitude minute fraction	0-15	4	
	Longitude_E W	N/A	Longitude East or West	0-1	1	
	Longitude_D	Degrees	Longitude degrees	0-179	8	

Field	Sub-field	Units	Description	Range	Size (bits)	
	Longitude_M	Mnutes	Longitude minutes	0-59	6	
	Longitude_F	Frac. of minutes	Longitude minute fraction	0-15	4	
	Radius	Index	Radius of the alarm	0-31	5	
Type of Disaster	---	N/A	Identifier of a disaster type according to a catalogue	0-511	9	9
Validity Time	Day	Days	Day of the month	1-31	5	26
	Month	Months	Months of year	0-11	4	
	Year	Years	Year since 2000	0-63	6	
	Hour	Hours	Hour of the day	0-23	5	
	Min	Minutes	minutes	0-59	6	
Important Directives	---	N/A	Important directives identifier extracted from a catalogue	0-511	9	9
Location / Evacuation info.	---	N/A	Spare capacity for text message	N/A	126	126
Parity	---	N/A	See [RD-3]	N/A	24	24
TOTAL					250	250

表 2-11 Galileo のメッセージフォーマット案[40]

Field	Sub-field	Units	Description	Encr ypt	Range	Size (bits)	
Message id	---	N/A	Identifier of the message	No	0-31	5	5
Target Group	---	N/A	Group/es to whom the msq is addressed	No	0-15	4	4
Alert Level	---	N/A	Alert Level	Yes	0-3	2	2
Originator	---	N/A	Originator of the alert	Yes	0-16383	14	14
Geographical Criteria	Type	N/A	Type of area	Yes	0-1	1	54
	Latitude_NS	N/A	Latitude North or South	Yes	0-1	1	
	Latitude_D	Degree s	Latitude degrees	Yes	0-89	7	
	Latitude_M	Minute s	Latitude minutes	Yes	0-59	6	
	Latitude_F	Frac. of minutes	Latitude minute fraction	Yes	0-15	4	
	Longitude_E W	N/A	Longitude East or West	Yes	0-1	1	
	Longitude_D	Degree s	Longitude degrees	Yes	0-179	8	
	Longitude_M	Minute s	Longitude minutes	Yes	0-59	6	
	Longitude_F	Frac. of minutes	Longitude minute fraction	Yes	0-15	4	
	R_Width	Index	Width of the rectangular area	Yes	0-31	5	
	R_Height	Index	Height of the rectangular area	Yes	0-31	5	
	Angle	Index	Radius of the alarm	Yes	0-63	6	

Field	Sub-field	Units	Description	Encr ypt	Range	Size (bits)	
Type of Disaster	---	N/A	Identifier of a disaster type according to a catalogue	Yes	0-511	9	9
Validity Time	Next Week Flag	N/A	Frag to indicate if starting point refers to this week of the next one	Yes	0-1	1	27
	TOWs	min	Time of Week (start)	Yes	0-16383	14	
	Duration	min	Duration	Yes	0-4095	12	
Important Directives	---	N/A	Important directives identifier extracted from a catalogue	Yes	0-511	9	9
Location / Evacuation info.	---	N/A	Spare capacity for text message	Yes	N/A	322	322
Reserved	---	N/A	Spare capacity for text message	Yes	N/A	4	4
TOTAL						448	448

衛星や地上通信などによるマルチチャンネル・多言語で緊急警報を伝達するコンセプトとして欧州では A4A (alert 4 all) プロジェクトが検討されている。Tomas [41]らはその中で GNSS を用いた情報伝達についての検討を実施している。A4A プロジェクトでは、特に CAP (Common Alerting Protocol) を使用した共通規格のプロトコルを意識していることから、CAP との互換性のある PDU 構造を提案している。この方式では、図 2-7 に示すようにアラート及び構造等の基礎的な部分を Primary Header で配信し、実際のアラートメッセージを Secondary Header で配信する。また、Options Header を追加で提供することとしている。このため、伝送容量が小容量である GNSS ではコード化を行い、さらに広帯域において配信する Option を提供せずに主要な情報のみを提供することを提案している。

また、表 2-12 に示す EGNOS のノミナルにおけるメッセージ定義から配信間隔を試算しており、Type 27 若しくは Type 28 を使用して配信した場合に 5-6 秒に 1 回配信可能である。

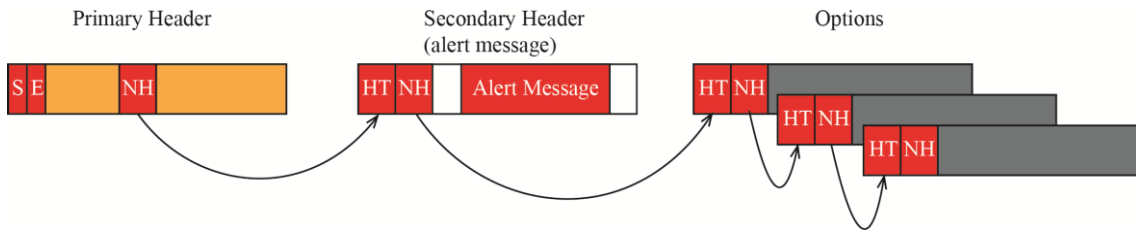


図 2-7 Allert4All の PDU 構造 ([41]より著者作成)

表 2-12 EGNOS のノミナルにおけるメッセージ定義

Message	Content
1	PRN mask
2 to 5	Fast
6	Integrity
7	Fast degrade
9	GEO nav
10	Degrad param
12	UTC time
17	GEO almanac
18	IGP mask
24	Fast / slow
25	Slow
26	Iono delay
27	WAAS service
28	Clock Eph. Covariance matrix

坂井ら[42]は、準天頂衛星の L1-SAIF 信号による広域緊急メッセージの放送に利用する提案を行うとともに、伝送遅れ時間及び放送頻度についての検討を行った。使用可能な L1-SAIF 信号の中から MT 62 のメッセージタイプを使用し、表 2-13 の内容を一例として提案した。また、L1-SAIF 実験局からユーザーの受信機までの伝送遅れ時間として図 2-8 に示す通り合計 10 秒以内との見積もりを示した。また、広域緊急メッセージは、測位補強で使用するメッセージの合間に配信を行うため、全メッセージに対して広域緊急メッセージを割り込ませた際の測位精度への影響を確認することを目的として、広域緊急メッセージの代わりにダミーメッセージを挿入し、ダミーメッセージの割合を全体の 50 % にして配信を行った際にも、測位精度に影響のないことを報告している。

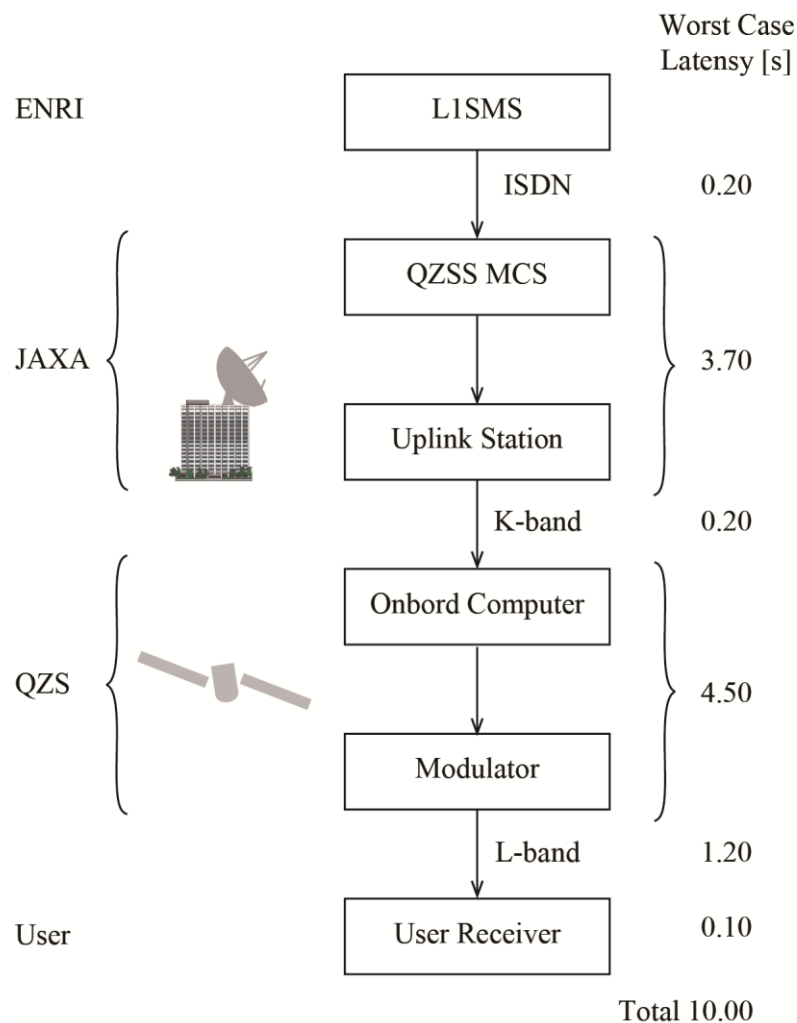


図 2-8 伝送遅れ時間の見積り ([42]より著者作成)

表 2-13 MT 62 : 広域緊急メッセージ (一例) [42]

項目	Bit 数	内容
緊急度識別	2	緊急度 (3: 最高, 0: 試験)
地域識別	5	配信対象地域 (0: 全域)
コンテンツ識別	1	コンテンツ形式 (0: 文字列)
ページ数	2	一組の情報の合計メッセージ数
ページ識別	2	メッセージ連番
コンテンツ	200	ACII 25 文字, シフト JIS (14 bits) 14 字
合計	212	

また坂井[43]は, 民間航空機の航法のために規格が制定されている GPS 補強システムの一つである SBAS の信号を非航空分野の情報伝達手段として規格外のメッセージを放送するため, CRC パリティの生成多項式を変更することによる未定義のメッセージを使用し, 航空用 SBAS 対応受信機に対する安全を確保しながら規格外のメッセージを放送する方法の検討を実施した。

前述した関連研究を表 2-7 の評価観点から分析した結果を表 2-14 に示す。

表 2-14 関連研究一覧

番号	著者	フェーズ			条件			
		コンセプト検討	詳細検討	実証	情報空白	対象災害に対するカスタマイズ	受信損失の考慮	ユーザーの利用までの想定
1	J.Ventura ら	○	△	×	×	×	×	×
2	M.Wallne ら	○	○	×	×	×	×	×
3	Tomas ら	○	○	×	×	×	×	×
4	坂井ら	○	○	△	×	×	×	×
5	本研究	○	○	◎	○	◎	◎	◎

(1) コンセプト検討：各関連研究共に、測位衛星の補強信号により防災情報を配信するためのメッセージタイプの検討を行うとともに、測位補強信号の配信の合間に配信するための配信間隔の検討を行っており、測位衛星を利用して防災情報を配信するためのコンセプトの検討を実施している。

(2) 詳細検討：各関連研究共に、伝送容量が小容量である測位補強信号を使用するためのメッセージフォーマットについての検討を行っており、測位衛星で防災情報を配信するための課題のひとつに取り組んでおり、詳細検討を実施している。

(3) 実証：1-3の研究においては、コンセプト検討、詳細検討までであり、実信号を使用した実証までは至っていない。4の坂井らについても実信号を使用した実験は行っているが、防災情報を配信するという観点の実信号を使用した実証は実施していない。

(4) 情報空白：各関連研究共に情報空白時の使用を想定していない。J.Ventura ら、M.Wallne らの研究では細部の情報については、他の情報手段での取得を検討している。Tomas らについては、GNSS はマルチチャンネルの防災情報配信の一部を担うことを検討している。

(5) 対象災害に対するカスタマイズ：各関連研究共に、具体的な対象災害への使用を想定していない。このため、災害発生時にどのエリアに情報を提供する、どれくらいの頻度で配信する、どの時間までに配信する必要がある等の検討は行っていない。このため、

(2) の伝送容量についても、実災害を踏まえた検討は行っていない。

(6) 受信損失の考慮：各関連研究共に、衛星からの信号の損失については考慮していない。

(7) ユーザーの利用までの想定：各関連機関共に、防災情報を配信するまでの観点で実施しており、実際に配信した防災情報をどのように提供するか、その情報をどう利用するかまでのユーザーの利用までを想定した検討は実施していない。

関連研究では、実信号を利用した実証までは実施していないため、本研究では、実用化に至る上で実信号を利用した実証まで実施する。また、本研究の目的を達成する上で、今まで考慮されていなかった情報空白期における防災情報配信を補完すること、対象災害に対するカスタマイズ、受信損失の考慮、ユーザーへの利用までの想定を含めた防災情報

配信システムの構築を行う必要がある。

3章 日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情

報配信システム

3.1 要求分析

3.1.1 ステークホルダの特定

日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システム（以下、「本システム」という。）の関係するステークホルダについて特定する。本システムは、災害時に防災情報をユーザーに提供することを想定しているため、関係するステークホルダは、情報を受信する「受信者」、情報を受信者に提供することを目的として情報の提供を行う「送信者」、システムを運用して送信者から受信者へ情報を提供する「運用者」及びこれらのステークホルダに対して影響を持つ「その他」の4者に大別することができる。各ステークホルダの分類について表 3-1 に、またステークホルダについてオニオンスライスモデルで示したものを図 3-1 に示す。

表 3-1 ステークホルダの分類

分類	ステークホルダ
①受信者	利用者（被災者，救援・救助者）
②運用者	システム運用者，QZSS 運用者，GNSS 運用者
③送信者	気象庁，地方自治体，内閣官房
④その他	既存の防災サービス，総務省，消防庁，内閣府，測位補強サービス利用者，監督官庁，宇宙機関

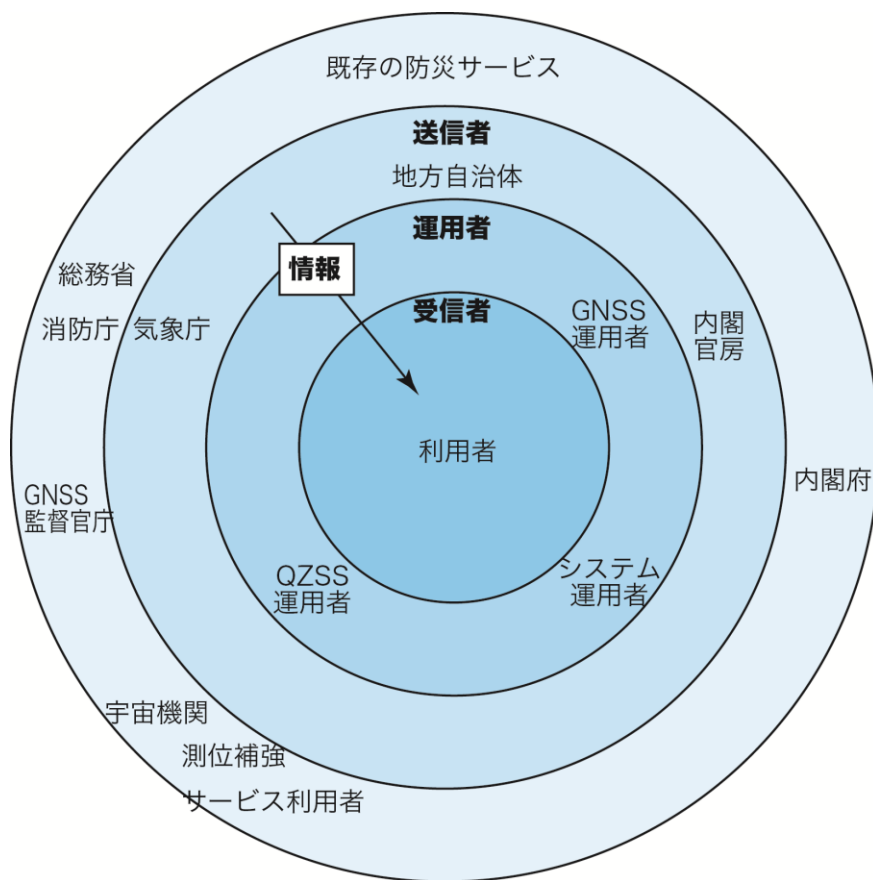


図 3-1 ステークホルダの分類 (オニオンスライスモデル)

①受信者は、災害時に本システムより情報を取得する。災害時には情報を取得し避難等を行う被災者と情報を元に被災者の救援・救助を行う救援・救助者に分かれる。本研究では、このうち被災者について対象とし、利用者として定義する。

②運用者は、本システムの運用を行う。まず本システムを使用し情報を提供するシステム運用者があげられる。また、本システムでは測位衛星を利用した情報配信を想定している。特に、日本では準天頂衛星を想定しているため、準天頂衛星の運用者もステークホルダとして位置づける。また、本システムでは、位置に応じた情報の提供を行うため GNSS から位置情報を取得する。このため、GNSS の運用者がステークホルダとして位置づけられる。

③送信者は、災害時に本システムが配信する情報を提供する。このため、地震情報、津波警報・注意報等を発表する気象庁がステークホルダとして位置づけられる。また、避難勧告及び避難指示は各市町村長の判断によって発表される[44]ため、地方自治体もステークホルダとして位置づけられる。また、国民保護に関する情報として弾道ミサイル情報等が

ある。この情報は内閣官房から提供されるため、ステークホルダとして位置づける。

④ステークホルダである受信者、運用者、送信者と関係がある者もステークホルダとして位置づける。測位補強サービス利用者は、準天頂衛星の測位補強サービスを利用することから、本システムが準天頂衛星を利用して防災情報を配信することによる測位補強サービスの劣化を好まないため、ネガティブなステークホルダとなる。本システムは防災システムであるため、防災基本計画及び災害対策の法整備を行っている内閣府、地域防災を担っている消防庁、また公共情報コモンズ[45]など ICT を活用した防災情報に関する普及促進を担っている総務省などをステークホルダとして位置づける。また、既存の防災サービスは本システムとの連携が考えられる。受信者及び送信者は、既存の防災サービスと本システムとを双方利用することにより、情報の多重化の恩恵を受けることができる。また、運用者については、例えばスピーカー及びサイレンなど既存の防災システムの一部に配信することも考えられる。続いて、送信者である QZSS 及び GNSS 運用者には監督官庁が存在し、その運用に対して影響をもつためステークホルダとして位置づける。例えば、日本では準天頂衛星の監督官庁は内閣府であり、GNSS の一つである SBAS (MSAT) の監督官庁は国土交通省となる。米国では U.S. Air Force, 欧州では GSA (European Global Navigation Satellite Systems Agency) などがこれにあたる。また、これは衛星であるため各国の宇宙機関もステークホルダとしてあげられる。日本では JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), 米国では NASA, 欧州では ESA (European Space Agency) がこれにあたる。

なお、本研究では、送信者及びその他であげた行政組織のうち、国の行政組織について、行政（国）として定義し、地方自治体については、行政（地方）として定義する。

3.1.2 対象災害

本システムは、災害時に測位衛星を利用して防災情報の提供を行うことを目的としている。そこで、本システムが対象とする災害について分析する。日本では災害対策基本法第一章第二条一により災害は、「暴風、竜巻、豪雨、豪雪、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、地震、津波、噴火、地滑りその他の異常な自然現象又は大規模な火事若しくは爆発その他その及ぼす被害の程度においてこれらに類する政令で定める原因により生ずる被害をいう。」

と定義している[44]. 本システムは測位衛星を介して防災情報を伝達するため、情報インフラが破壊され他の情報伝達手段がない場合において最も有効である。また、衛星を介して同報的に情報を伝達することができるため、発災から避難にかかる時間があまりない状況に対して、情報の伝達手段として有効であると考ええる。

また、災害は時間的な区分により必要な情報が異なるため、本システムが対象とする災害の時間的区分について検討する必要がある。中村[46]は災害の時間的区分について、まだ何も起きていない「平常期」、災害の前兆が現れてくる「警戒期」、災害が生じつつある「発災期」、最初の危機が一段落した「復旧・復興期」の4期に分類している。総務省における「災害時における衛星インターネットの利活用に関する調査検討」[47]においては、地震災害時を発災後から3日間程度の「発災直後」、発災後4日目～1週間程度の「応急時」、発災後1週間目～1,2ヶ月間程度の「復旧時」の3つの時期に大別し、さらには発災直後を状況がつかめない「情報空白期」と情報が徐々に収集される「情報混乱期」に分類している。そこで本研究では、この発災直後の情報空白期において、避難開始前、避難中、避難後の3つに大別し、災害の時間区分を図 3-2 に定義する。

本システムは、災害発生時の情報空白期において特に有用であるという観点及び被災者の避難行動の支援を行うという観点から、災害の発生により避難行動時に情報空白期が発生する可能性があり、避難行動までの時間が短い災害として、地震・津波災害を対象とする。

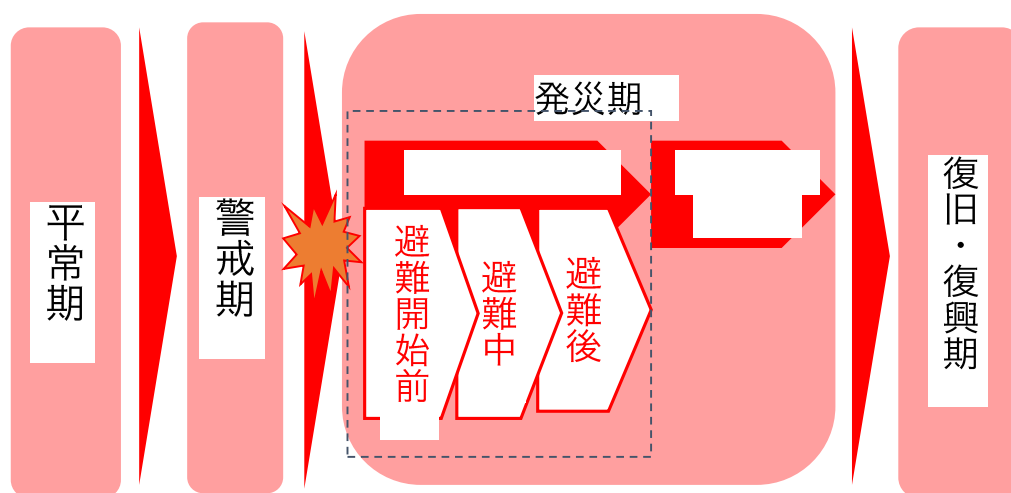


図 3-2 災害の時間的区分

3.1.3 ステークホルダの要求

本システムの設計を行うにあたり、要求分析を実施する。そこでまず、本研究で設定したステークホルダの要求について明らかにする。

利用者は、災害の避難時における要求が重要であることから、東日本大震災後及びその他の津波災害における被災者に対する調査結果から分析を行うことでその要求を明らかにする。被災者に対する調査は東日本大震災後、多くの機関で行われており、本研究ではそれらを利用し分析を実施した。以下に被災者の避難行動、被災者意識及び情報利活用に関する特徴的な傾向についての調査結果を示す。

(1) 避難開始前までの行動

- ・避難開始までの行動は「情報の収集・確認」が最も多く、25%程度を占めていた。また次いで「ただちに避難」「家族や知人の安否確認」となり、それぞれが25%程度を占めていた[48]。

- ・地震の揺れが収まった後の避難行動では、57%が直後避難を行っており、31%が用事後避難を行っていた。なお、11%は津波が迫ってからの切迫避難を行っていた。切迫避難では、全体の約半数において津波に巻き込まれた割合が高く、避難のタイミングが遅れるほど津波に遭遇している結果となった[49]。

(2) 避難開始時間

- ・津波で亡くなった方の21%は避難をしなかった[48]。

- ・地震発生から避難開始までの時間は、生存者は平均19分、亡くなった方は平均21分であった[48]。

- ・地震が発生して津波（最大波）が来る前に避難行動を開始した人は全体の63%であり、地震が発生してから津波が来る前に避難行動を開始した人のうち、約80%の人は30分以内に避難を開始していた[50]。

- ・避難開始までの所要時間は平均17分であったが、避難を開始した時間の回答数としては、「揺れの30分以上後」が最も多く、回答の約19%を占めていた。一方、「揺れが収まった直後」の回答も約18%を占めており、避難時間の差が広がっていた。特に、5分以内に避難を開始した人の4割以上は津波に関する危機意識の高い人であった[51]。

(3) 津波に対する危機意識

・地震の直後、ただちに地震が来ると思ったかどうかについては、「津波が必ず来ると思った」との回答は32.6%、「津波が来るかもしれないと思った」との回答は21.1%であった。一方、「津波のことは考えなかった」及び「津波は来ないと思った」の合計が半数を占めており、津波に対する危機意識については半数が低い結果となった[51].

・用事後避難及び切迫避難の被災者に対する、すぐに避難しなかった理由については、用事後避難の人は、「家族を探しにいたり、迎えにいたりしたから」「自宅に戻ったから」という理由が多かった。切迫避難の人は、「過去の地震でも津波が来なかったから」「津波のことは考えなかったから」といった津波への危機意識が薄いと考えられる理由が多かった[49].

・津波で亡くなった方の21%は避難しておらず、その理由として、「自分のいる場所が安全だと思った」との回答が最も多かった[48].

・近年の津波避難時の行動・意識から十勝沖地震（2003）、千島列島東方の地震（2006）、千島列島東方の地震（2007）において避難しなかった理由として「その時いた場所が危険とは思わなかった」が最も回答数が多く、チリ中部沿岸の地震（2010）においては「高台など、津波に浸水するおそれのない地域にいると思った」の回答数が最も多かった[4].

(4) 避難のきっかけ

・避難を開始したきっかけは「大きな揺れから津波が来ると思ったから」がもっとも回答数が多く、次いで「家族または近所の人が避難しようと言ったから」「津波警報を見聞きしたから」の順で回答が多かった[49].

・生存者の避難を開始するきっかけで最も多かったのは「大津波警報及び津波警報」であり、全体の31%を占めた[48].

・亡くなった方の避難するきっかけで最も多かったのは「大津波警報及び津波警報」であり、全体の25%を占めた[48].

・津波警報（大津波）を見聞きした人は約35～45%であり、そのうち約80%の人が避難の必要性を感じていた[49].

・大津波警報を知った人の7割以上が避難の必要性を意識した[51].

・近年の津波避難時の行動・意識から十勝沖地震（2003）、千島列島東方の地震（2006）、

千島列島東方の地震（2007）、チリ中部沿岸の地震（2010）において、避難したきっかけの上位3つ以内として「津波警報を聞いたので」及び「市町村が避難を呼びかけたため」と回答している[4].

（5）情報の入手手段の喪失

・全国瞬時警報システム（J-Alert）は、東日本大震災時の岩手県、宮城県において69市町村のうち33市町村で運用されており、そのうち5件が津波予報の自動起動の対象団体であったが、2件は事故等により自動起動しなかった[52].

・東日本大震災では太平洋沿岸の27市町村のうち17市町村において防災行政無線が利用できないことがあり、その理由は、倒壊・破損等11市町村、バッテリー切れ5市町村、燃料切れ等2市町村であった[53].

・津波警報を見聞きできなかった人は全体の約6割にのぼった[49].

・避難の呼びかけを見聞きした人は全体の約25%にあたるが、その中で防災行政無線について、「何か言っていたが、聞き取れなかった」「何か言っていたが覚えていない」「呼びかけはしていなかったと思う（聞いていない）」の合計は44%であり、半数の人が防災行政無線からの避難情報をはっきりと受け取れていなかった[49].

・地震情報（震度やマグニチュード）については、岩手県で57%、宮城県で52%、福島県で64%の人が「見聞きしていない（出来なかった）」と回答した。またその理由としては、「地震情報を見聞きする為の手段がなかった」が岩手県で22%、宮城県で25%、福島県で18%、「停電の影響で見聞きする手段がなかった」が岩手県で37%、宮城県で31%、福島県で18%と情報の入手手段の喪失が半数を占めた。なお、「避難の途中などで、見聞きする余裕がなかった」という回答は、それぞれ岩手県で37%、宮城県で39%、福島県で59%であった[49].

（6）避難中の情報取得

・「予想される津波の高さ」が更新された情報について、岩手県では63%、宮城県では74%の人が見聞きをしていなかった。その理由としては、「避難のため情報を聞く余裕がなかった」が岩手県で44%、宮城県で47%と多数を占めた。また、「役場や防災行政無線からそういった情報がなかった」「テレビ・ラジオが停電で使えなくなった」「携帯電話が使えなくなった」等の避難中の情報手段の喪失については岩手県24%、宮城県31%となった[54].

(7) 避難場所の安全性について

・亡くなった方の 64%は一時避難先が安全な場所ではなく、生存者の 77 %は一時避難先が安全な場所に避難した[48].

・亡くなった方の 60%が避難場所から危険な場所へ移動した[48].

(8) 地震発生後に行政が発信した情報に対する住民の意見

・地震発生後に行政から発信された情報の内容について、住民は「確実に情報を伝える」「迅速に情報を伝える」「正確な情報を伝える」「緊急性、危機感が感じられる情報を伝える」ことが重要であると回答している[49].

調査結果より、利用者が災害時に避難支援の観点から本システムに対する要求は、以下の通りと考えられる.

①情報を確実に伝達すること

(4) から津波警報を見聞きした人の多くが避難の必要性を感じているため、防災情報は避難のきっかけにしている被災者はいるものの、(5) より津波警報を見聞きできなかった被災者がいる。また、(8) から地震発生後に行政が発信した情報に対する意見として「確実に情報を伝える」ことがあげられている。このことから、「情報を確実に伝達すること」が要求としてあげられる。

②情報を迅速に伝達すること

(1) から 25%の方が避難開始までに「情報の収集・確認」を行っており、早い段階で情報を入手することで、避難開始時間の短縮を図ることが可能であり、また、(2) より避難開始時間の早さは生存への影響もあることから、利用者は情報を早く入手することを望んでいる。また、(8) から地震発生後に行政が発信した情報に対して「迅速に情報を伝える」との意見がある。このことから、「情報を迅速に伝達すること」が要求としてあげられる。

③避難行動のきっかけとなる情報を伝達すること

(4) より津波警報を見聞きした人の 80 %が避難の必要性を感じており、提供した情報は避難のきっかけとなる。また、(8) から地震発生後に行政が発信した情報に対して「緊

急性、危機感が感じられる情報を伝える」との意見がある。このことから、「避難行動のきっかけとなる情報を伝達すること」が要求としてあげられる。

④信頼性の高い情報を伝達すること

津波警報をきっかけとして避難を開始している被験者がいることから、信頼性の高さが避難行動に繋がっていると考えられ、情報の信頼性に対するニーズも存在する。このことから、「信頼性の高い情報を伝達すること」が要求としてあげられる。

⑤被災者のいるエリアに対しての情報を提供すること

(3) より「津波は来ないと思った」や「自分のいる場所は安全だと思った」など、津波警報が提供されていながら、津波に対する危機意識の低さという問題がある。これについては、警報自体が被災者のエリアに対する情報と捉えられていないことが考えられる。このようなことから、被災者のいるエリアの情報を提供し、被災者自身が危険を認識することが求められる。このことから、「被災者のいるエリアに対しての情報を提供すること」が要求としてあげられる。

⑥被災者が携帯している端末に対して情報を提供すること

(5) より防災行政無線などから「情報が聞き取れなかった」、「何を言っていたか覚えていない」という被災者の意見がある。これは、公共のスピーカーなどからの情報配信であり、情報経路として被災者まで繋がっていないことが問題として考えられ、被災者が情報を取得するためには、普段から携帯している端末等に対して個別に配信することが求められる。このことから、「被災者が携帯している端末に対して情報を提供すること」が要求としてあげられる。

⑦移動中の被災者に対して情報を提供すること

(6) より移動中にも情報を取得することが求められている。このことから、「移動中の被災者に対して情報を提供すること」が要求としてあげられる。

⑧危険地域を表示すること

(7) より亡くなった方は一時避難先が安全ではない場所へ避難しており、また避難後に危険な場所へ移動している方も存在する。つまり、被災者のいる場所の危険性を伝達することが求められ、「危険地域を表示すること」が要求としてあげられる。

⑨被災者自身の状況を表示すること

また、⑧の危険地域の表示については、危険地域が被災者のいる場所からどこにあるのか、また、被災者のいる場所が危険地域ではないかを知る必要があることから、「被災者自身の状況を表示すること」が要求としてあげられる。

ステークホルダであるシステムの運用者については、防災に関わる行政組織（国及び自治体）からの政策や指針などから要求が導かれるため、まずは防災に関わる行政組織からの要求の洗い出しを実施した。

東日本大震災以降、内閣府及び総務省消防庁では東日本大震災の経験及び教訓を踏まえた検討課題の抽出及び新たな取り組みを行っている。そこで、本研究では、これらの機関の取り組みから防災情報の提供に関わる要求の洗い出しを実施した。その結果以下の要求が導かれた。

①情報を確実に伝達すること

- ・津波襲来時の情報伝達について、防災行政無線、J-ALERT、テレビ、ラジオ、携帯電話、ワンセグ等の多様な手段を用いて伝達する[4].
- ・津波警報、避難の呼びかけ等の津波避難に関する情報は、命に係る情報であるため、停電、機器の故障等、様々な状況にあっても確実に伝わる体制を構築する必要があることから、情報伝達手段の多重化・多様化を図ることが必要[55][56].
- ・地震の揺れが弱い津波が発生する場合には、地震に気づかず自ら情報入手の行動を取らないことが考えられるため、プッシュ型の情報伝達を充実させる必要がある[6].

②情報を迅速に伝達すること

- ・迅速性に優れた情報伝達手段の確保[56].

続いて東日本大震災以降、地方自治体においても地震津波対策等に取り組んでおり、特に南海トラフ巨大地震及び首都直下型地震などの発生の可能性のある地域については、東日本大震災の経験及び教訓を踏まえた検討を実施している。そこで、本研究では横浜市、静岡市、高知県を対象にヒアリングを実施し、本システムの要求の洗い出しを実施した。実施した機関と日時について、表 3-2 に示す。

表 3-2 ヒアリング対象機関

機関	対象	日時
横浜市	横浜市消防局危機管理室	2013年3月1日
静岡市	静岡市総務局危機管理部	2013年2月25日
高知県	高知県危機管理部	2013年2月27日

横浜市では、地震防災対策への取り組みとして、新たに津波警報伝達システムの導入を行うとともに、緊急速報メールや防災情報 E メールを活用を行っている。また、停電時には、ラジオや広報車による情報伝達も確保している。しかしながら、このような対策の中、情報伝達のハード・ソフト的な課題として以下をあげている。

- ・ J-ALERT を受信できなかった場合、他の手段で受信する対処がない。
- ・ 屋内への伝達がしにくい。
- ・ 実際に音声が届いているかチェックができない。
- ・ 日常的な活用ができない。
- ・ 情報伝達に時間がかかる（1回の放送に3分）。

静岡市では、J-ALERT で同期された同報無線を指令指定都市最多である 629 局を整備している。また、受信は 4 機で行っており、受信できない事態をなくすようにしている。また、防災行政無線、登録制メール、コミュニティ FM を活用した若年から高齢者かつ屋内から屋外までを広くカバーすることを検討している。しかしながら、このような対策の中、情報伝達のハード・ソフト的な課題として以下をあげている。

- ・ 同報無線の維持が負担となる。
- ・ 同報無線が聞こえない場合がある。特に屋内と屋外環境で聞こえ方が異なる。また、建設数を増やすことは、逆に無線の近くに住む人には音量が大きいなどの問題がある。
- ・ 同報無線は情報の提供に時間がかかる。
- ・ ラジオの場合、山間地に届かない。

高知県では、防災行政無線を整備するとともに、可搬型の衛星通信を配備している。ま

た、緊急時には市町村が緊急放送局を開設することで、ラジオ配信を行い、半径 10 km にて配信が可能である。なお、サイレンを用いた避難の呼びかけも検討している。しかしながら、このような対策の中、情報伝達のハード・ソフト的な課題として以下をあげている。

- ・可搬型の衛星通信は価格が高く、日常的な使い方が問題である。
- ・エリアメールでは届かない場合があった。
- ・防災行政無線は何を言っているか不明なことがある。

このようなことから、地方自治体の本システムへの要求として以下があげられる。

①防災行政無線、ラジオなどの補足としての情報提供

現状行政無線を音声的な問題やコスト的な問題で増やすことは難しいため、難聴域などに対する補足。

②迅速な配信

防災行政無線の場合、音声で伝達するため、情報で伝達することによる迅速な配信。

③正確な情報の提供

無線による音声の場合、聞き取りにくいなどの問題が発生するため、情報として被災者に正確な情報を伝達したい。

また、気象庁、地方自治体、内閣官房等は、各機関から発表された情報を本システムが提供することを想定している。各機関は発表された情報を被災者に確実に届けることを要求としており、また、発表される情報が変更される場合もある。例えば、気象庁では東日本大震災の津波被害を受け、2013 年 3 月 7 日から新しい津波警報の運用を開始している[57]。このように発表する情報を変更した場合においても、本システムが情報を提供可能なことが要求としてあげられる。

QZSS 運用者は本システムが使用する準天頂衛星の運用を行う。このため、本システムが準天頂衛星を利用する上で、規定されたメッセージフォーマットでの利用、規定された配信間隔での利用など準天頂衛星を利用する上の仕様が要求としてあげられる。

測位補強サービス利用者は、準天頂衛星から測位補強サービスを利用するため、本システム使用時においても、測位精度が劣化しないことがあげられる。

GNSS 運用者は GNSS の運用を行っているおり本システムに対する直接的な要求はないが、本システムは GNSS から位置情報を取得しているため、位置精度の劣化などが本システムへの影響を及ぼす可能性がありその動向に注視する必要がある。また、GNSS によっては、例えば、欧州の EGNOS や Galileo のように防災情報の提供可能な衛星も存在するため、将来的には相互運用サービスを行うという要求はある。

GNSS 監督官庁及び宇宙機関は、GNSS 運用者に対して影響を及ぼす。このため、位置精度の劣化などが本システムへの影響を及ぼす可能性があるため、その動向に注視する必要がある。また、前述したその他の測位衛星との相互運用サービスの構築については、宇宙機関からの要求としてもあげられる。

そこで、各ステークホルダから示された要求を表 3-3 に整理した。

表 3-3 本システムに対するステークホルダ要求

番号	要求	要求元
1	情報を確実に伝達すること	利用者, 行政 (国)
2	情報を迅速に伝達すること	利用者, 行政 (国), 行政 (地方)
3	避難行動のきっかけとなる情報を伝達すること	利用者
4	信頼性の高い情報を伝達すること	利用者
5	被災者のいるエリアに対しての情報を提供すること	利用者
6	被災者が携帯している端末に対して情報を提供すること	利用者
7	移動中の被災者に対しても情報を提供すること	利用者
8	危険地域を表示すること	利用者
9	被災者自身の状況を表示すること	利用者
10	完全な情報を伝達すること	行政 (地方)
11	情報ソースの変更による対応が可能なこと	防災情報発表機関
12	準天頂衛星で配信可能なこと	QZSS 運用者
13	測位精度が劣化しないこと	測位補強サービス利用者

3.1.4 システムの範囲の明確化及びユースケースシナリオ

本システムの要求機能及びシステムの範囲を明確化するため、本システムにおけるユースケースの分析を実施した。図 3-3 にユースケース図を示す。本システムでは、準天頂衛星システムを利用して防災機関等の情報発信者から発信される防災情報を利用者へ配信する。アクターは、まず利用者及び情報発信者があげられる。また、QZSS によって情報を準天頂衛星に送信するためには、追跡管制局、マスターコントロール局を介する必要があるため、これらをアクターとして設定した。準天頂衛星を利用して防災情報を配信するためには、準天頂衛星で配信するためのメッセージの仕様に合わせ、かつステークホルダの要求を満たす必要があり、uc12 から uc15 をユースケースとした。準天頂衛星から配信される情報は、準天頂衛星のメッセージの仕様で配信されるため、利用者に提供するための防災情報に復号し提供する必要がある。また、ステークホルダの要求に上げられている項目について満たす必要があるため、uc01 から uc11 をユースケースとした。

なお、準天頂衛星を利用した防災情報配信システムである本システムは黒のラインで示された領域であるが、マスターコントロール局、追跡管制局及び QZS は、QZSS を構成するため、それぞれ外部システムとして考えることとする。そこで、本システムにおいて設計対象となる本研究の System of interest は赤のラインで示す領域とする。それぞれのユースケースにおけるシナリオは以下に示す。

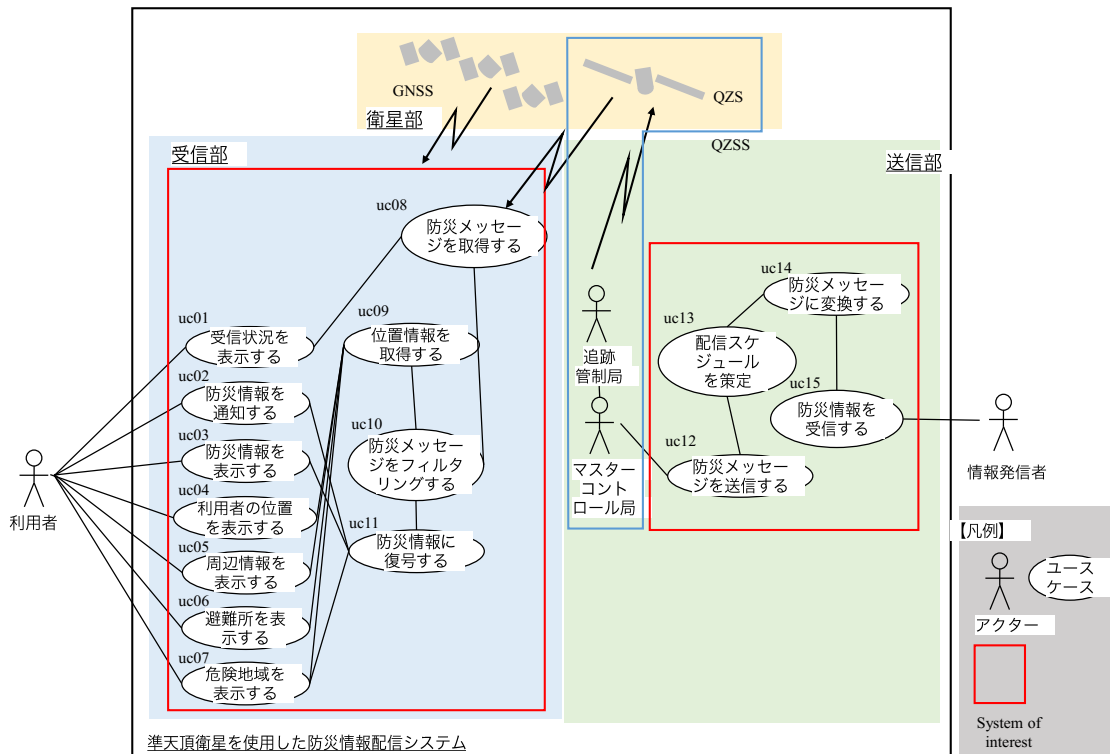


図 3-3 ユースケース図

ユースケース uc01 「受信状況を表示する」

事前条件：防災メッセージを取得する。

イベントフロー

<基本フロー>

1. システムは現時刻において防災メッセージを受信しているかを確認する。
2. システムは端末画面上に防災メッセージ受信アイコンを点灯する。

<代替フロー>

ステップ 1 において防災メッセージを受信していない場合、

2. 前回防災メッセージを受信した時刻を確認する。
3. 現時刻と前回防災メッセージを受信した時刻の差が設定時間未満の場合、端末画面上に防災メッセージ受信アイコンを点灯し、設定時間以上の場合、端末画面上の防災メッセージ受信アイコンを消灯する。

ユースケース uc02 「防災情報を通知する」

事前条件：防災情報に復号する.

イベントフロー

<基本フロー>

1. システムは防災情報を受信しているかを確認する.
2. システムは受信した防災情報が既に受信した情報かを確認する.
3. 最新情報の場合, ユーザーに防災情報を受信したことを通知する.

ユースケース uc03 「防災情報を表示する」

事前条件：防災情報に復号する, 防災情報を通知する.

イベントフロー

<基本フロー>

1. ユーザーが端末を操作し, 防災通知を選択すると防災情報を表示する.
2. ユーザーが端末を操作し, 過去に通知した防災通知を選択すると防災情報を表示する.

ユースケース uc04 「利用者の位置を表示する」

事前条件：位置情報を取得する.

イベントフロー

<基本フロー>

1. ユーザーの所持する端末がオフライン地図データを所持していた場合, ユーザーが端末を操作し, 地図を選択するとユーザーの位置情報を表示する.
2. ユーザーの所持する端末がオフライン地図データを所持していない場合, ユーザーが端末を操作し, ユーザーの位置を緯度, 経度, 高さのテキストで表示する.

ユースケース uc05 「周辺地図を表示する」

事前条件：位置情報を取得する.

イベントフロー

<基本フロー>

1. ユーザーの所持する端末がオフライン地図データを所持していた場合、ユーザーが端末を操作し、地図を選択するとユーザーの位置情報から設定した範囲の周辺地図を表示する。

ユースケース uc06 「避難所を表示する」

事前条件：位置情報を取得する。

イベントフロー

<基本フロー>

1. ユーザーの所持する端末がオフライン地図データ及びオフライン避難所位置データを所持していた場合、ユーザーが端末を操作し、地図を選択するとユーザーの位置情報から設定した範囲の周辺地図及びその範囲にある避難所を表示する。

<代替フロー>

- 1 において、ユーザーがオフライン地図データを所持していない場合もしくは、地図を選択しない場合、
2. ユーザーがオフライン避難所位置データを所持していた場合、ユーザーが端末を操作することで、ユーザーの位置情報から指定された範囲内にある避難所リストを避難所情報とともに表示する。
3. ユーザーが選択した避難所までの距離及び方向を表示する。

ユースケース uc07 「危険地域を表示する」

事前条件：位置情報を取得する、防災情報に復号する。

イベントフロー

<基本フロー>

1. ユーザーの所持する端末が危険地域（津波浸水深等）データ及びオフライン地図データを所持していた場合、ユーザーが端末を操作し、危険地域表示を選択するとユーザーの位置情報から設定した範囲の周辺地図及びその範囲内の危険地域を、取得した防災情報の警報レベルに応じて表示する。

2. ユーザーが危険地域表示を表示中に、取得した防災情報の警報レベルが変更された場合には、危険地域を更新する。

ユースケース uc08 「防災メッセージを取得する」

イベントフロー

<基本フロー>

1. システムは、QZS から配信される L1-SAIF 信号を受信する。
2. システムは、L1-SAIF 信号から防災メッセージを取得する。

<代替フロー>

- 1 において、L1-SAIF 信号のレベルが低い場合は、
2. システムは待機する。

事後条件：受信状況を表示する、防災メッセージをフィルタリングする。

ユースケース uc09 「位置情報を取得する」

イベントフロー

<基本フロー>

1. システムは、GNSS から L1/CA 信号を受信する。
2. システムは、4 機以上の GNSS から L1/CA 信号を受信し、かつシグナルレベルが一定値以上だった際には、位置情報を取得する。

<代替フロー>

- 1 において、GNSS から取得可能な衛星数が 4 機未満、もしくはシグナルレベルが一定値未満の場合は待機する。

事後条件：防災メッセージをフィルタリングする、利用者の位置を表示する、周辺情報を表示する、避難所を表示する、危険地域を表示する。

ユースケース uc10 「防災メッセージをフィルタリングする」

イベントフロー

事前条件：防災メッセージを取得する、位置情報を取得する。

<基本フロー>

1. システムは、取得した防災メッセージがエリア配信の場合、防災メッセージがユーザーの位置を対象にした情報か確認する。

2. 防災メッセージがユーザーの位置を対象にした情報の場合、防災情報の復号に渡す。

<代替フロー>

1 において、防災メッセージをユーザーの位置を対象にした情報でない場合、

2. 防災情報の復号に渡さない。

事後条件：防災情報に復号する。

ユースケース uc11 「防災情報を受信する」

イベントフロー

<基本フロー>

1. 情報発信者より防災情報を取得する。

事後条件：防災情報をスケジューリングする。

ユースケース uc12 「防災メッセージを送信する」

事前条件：配信スケジュールを策定する。

イベントフロー

<基本フロー>

1. システムは、変換した防災メッセージを配信スケジュールの順番に応じてマスターコントロール局に送信する。

ユースケース uc13 「配信スケジュールを策定」

事前条件：防災メッセージに変換する。

イベントフロー

<基本フロー>

1. 変換した防災メッセージを配信スケジュールのルールに応じてスケジューリングを行う。

事後条件：防災メッセージを送信する。

ユースケース uc14 「防災メッセージに変換する」

事前条件：防災情報を受信する。

イベントフロー

<基本フロー>

1. 防災情報をメッセージフォーマットに従って防災メッセージに変換する。

事後条件：配信スケジュールを策定する。

ユースケース uc15 「防災情報を受信する」

イベントフロー

<基本フロー>

1. 情報発信者が発表した防災情報を受信する。

事後条件：防災メッセージに変換する。

また、本研究の最重要ステークホルダである利用者が本システムを使用して防災情報を取得し、避難行動を行うまでのシナリオは以下の通りとなる。

利用者の使用時の行動

<基本フロー>

1. 災害が発生し、準天頂衛星から防災メッセージが配信される。
2. ユーザーの所持する端末が防災メッセージを受信すると受信状況を示すアイコンが点灯する。
3. ユーザーのいるエリアの情報を受信するとシステムはユーザーに防災情報を受信した旨を通知する。
4. ユーザーは、通知画面を選択し、防災情報を確認する。
5. ユーザーは、所持するオフラインデータに応じて、使用するコンテンツを選択し、避難行動を開始する。
6. 避難行動中において、ユーザーのいるエリアの情報を受信するとシステムはユーザーに防災情報を受信した旨を通知する。以下、4、5に続く。

<代替フロー>

2 において受信状況を示すアイコンが消灯した状況の場合、ユーザーは必要に応じて受信環境が良いエリアに移動する。

3.1.5 要求図

ステークホルダからの要求及びユースケースから導かれた要求を整理するため、図 3-4 に本システムの要求図を示す。なお、本システムの最上位要求は、「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を提供すること」とし、ミッション要求は、「情報空白期に迅速かつ有効な情報をユーザーに提供することで、ユーザーの避難支援を行うこと」とした。また、ステークホルダ要求であげられた、信頼性のある情報、避難行動のきっかけとなる情報を有効な情報と定義する。

情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を提供すること

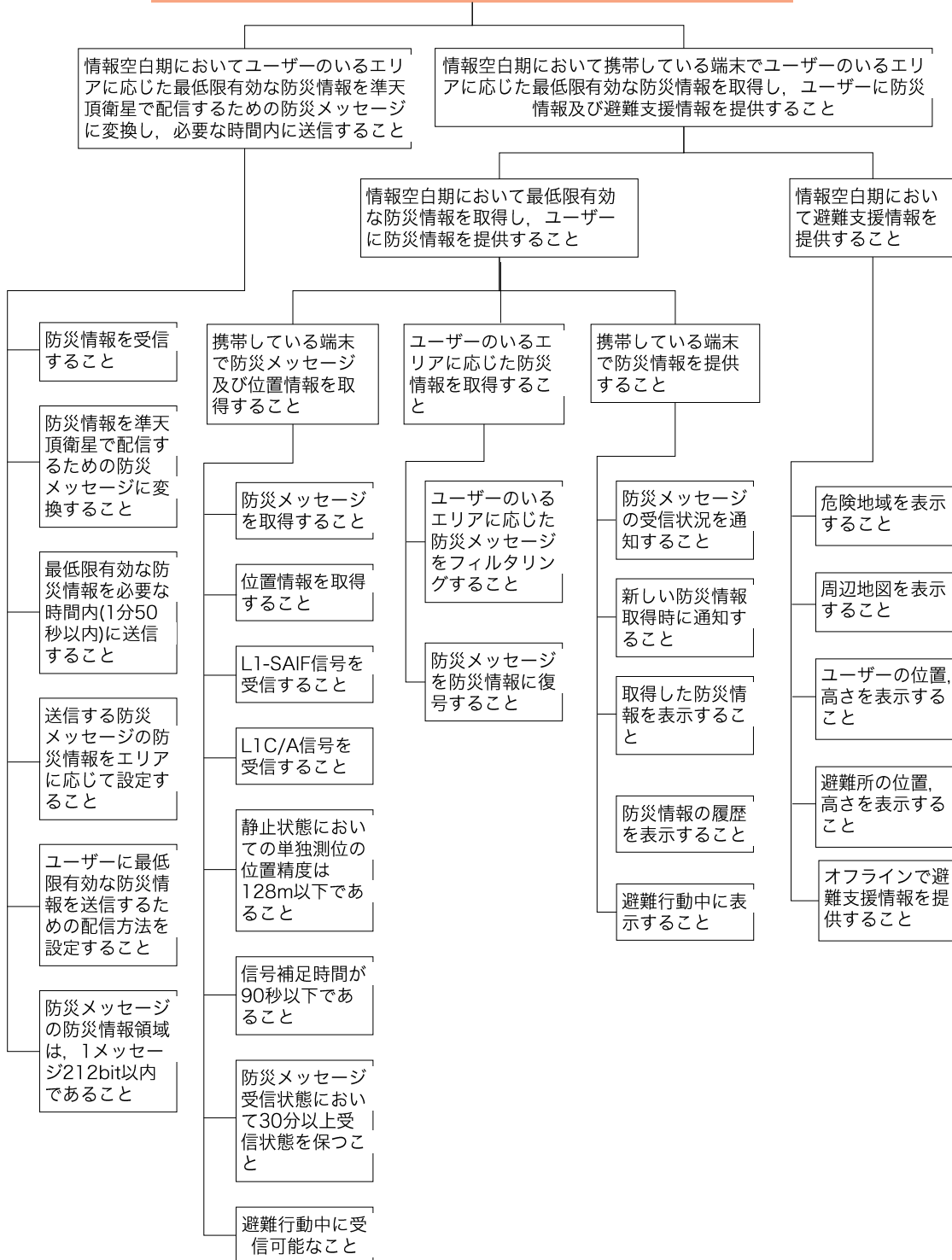


図 3-4 本システムの要求図

3.1.6 要求の検証識別性

3.1.5 項で提示した要求は、検証可能な要求でなければならない。そこで、それぞれの要求の検証方法を検討するため、RVTM (Requirements Verification Traceability Matrix) を作成した。作成した RVTM を表 3-5 に示す。なお検証方法は (I) 検査, (A) 分析, (D) 実証, (T) 試験に分けられ、それぞれ表 3-4 で定義される。また、RVTM には要求で示された根拠について記載した。表中の S 要求については、ステークホルダ要求を示し、各番号については、それぞれの要求を導いた要求の番号を示している。

これより、各要求について検証可能であることを確認した。

また、要求において与えた性能については、以下を根拠としている。

1.1.1.3 の「最低限有効な防災情報を必要とする時間内 (1 分 50 秒以内) に送信すること」の 1 分 50 秒については、本研究では、津波注意報・警報を有効な情報として定義しており、津波注意報・警報は、地震発生から約 3 分が発表の目標となっている [58]。また、避難開始時間については、消防庁の津波避難対策推進マニュアル検討会の報告書によれば、2 ~ 5 分を想定している [59]。また、坂井らの検討結果から、L1-SAIF 実験局からユーザーの受信機までの伝送遅れ時間は 10 秒程度であるため、本システムは地震発生後に津波注意報・警報を準天頂衛星に対して 1 分 50 秒以内 (5 分 - 3 分 - 10 秒) に送信する必要がある。

1.2.1.1.5 の「静止状態における単独測位の位置精度は 128 m 以下であること」における 128 m については、歩行ナビゲーションなどストリートレベルを判別するための測位誤差として 128 m が指針として提言されており [60]、測位精度の要求として設定した。

1.2.1.1.6 の「信号補足時間が 90 秒以下であること」における 90 秒については、地震・津波災害時において、最も早く発表される防災情報が震度速報であり、約 90 秒後に配信されるため [61]、地震発生直後に GNSS 機能を ON にした場合においても受信可能な時間として設定した。

1.2.1.1.7 の「防災メッセージ受信状態において 30 分以上受信状態を保つこと」の 30 分については、東日本大震災時において、80 % 以上が 30 分以内に避難を開始している [50] ことから、最低限受信可能な時間として設定した。

表 3-4 検証方法の定義

項目	内容
検査 (I : Inspection)	構造, 仕上がり, 寸法, 形状などの目視点検可能な要求及び色, 形及びソフトウェアの使用言語など物理的特徴についての要求の適合性を検証する
分析 (A : Analysis)	論理的, 数学的及び図式的技法並びに統計学モデルによって評価する
実証 (D : Demonstration)	実際のオペレーションもしくはシミュレーションにより検証する. データの計測及び分析は含まない.
試験 (T : Test)	機能的, 電氣的, 機械的, 環境的な性能を直接計測する

表 3-5 本システムの RVTM

レベル	ID	Name	M/B	要求	根拠	検証方法
0	0	全体システム	M	1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに, 避難支援情報を提供すること	1.1-1.4	D
1	1.1	送信部	M	1.1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換し, 迅速に送信すること	1.1.1.2-1.1.1.8	A, D
3	1.1.1	防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム	M	1.1.1.1 防災情報を受信すること	1.1, Use case	×
3	M		1.1.1.2 防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換すること	S 要求 (12) , 1.1, Use case	A	
3	M		1.1.1.3 最低限有効な防災情報を必要な時間内(1分50秒以内)に送信すること	S 要求 (2)	A	

レベル	ID	Name	M/B	要求	根拠	検証方法
3			M	1.1.1.4 送信する防災メッセージの防災情報をエリアに応じて設定すること	S 要求 (5) , 1.2.2	A
3			M	1.1.1.5 ユーザーに最低限有効な防災情報を送信するための配信方法を設定すること	S 要求 (1, 3, 4)	A
3			M	1.1.1.6 防災メッセージの防災情報領域は、1メッセージ 212 bits 以内であること	S 要求 (12)	A
3			M	1.1.1.7 測位精度が劣化しないこと	S 要求 (13)	A
3			M	1.1.1.8 提供する情報の変更に対応可能なこと	S 要求 (11)	A
1	1.2	受信部	M	1.2 情報空白期において携帯している端末でユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を取得し、ユーザーに防災情報及び避難支援情報を提供すること	S 要求 (6, 7)	D
2	1.2.1	防災情報取得提供サブシステム	M	1.2.1 情報空白期において最低限有効な防災情報を取得し、ユーザーに防災情報を提供すること	1.2.1.1-1.2.1.3	D
3	1.2.1.1	防災メッセージ・位置情報取得部	B	1.2.1.1 携帯している端末で防災メッセージ及び位置情報を取得すること	1.2 Use case	T
4	1.2.1.1.1			1.2.1.1.1 防災メッセージを取得すること	1.2 Use case	T
4	1.2.1.1.2			1.2.1.1.2 位置情報を取得すること	1.2, Use case	T
4	1.2.1.1.3			1.2.1.1.3 L1-SAIF 信号を受信すること	Use case	T

レベル	ID	Name	M/B	要求	根拠	検証方法	
4				1.2.1.1.4	L1/CA 信号を受信すること	Use case	T
4				1.2.1.1.5	静止状態における単独測位の位置精度は 128 m 以下であること	1.2.2.3	I
4				1.2.1.1.6	信号補足時間が 90 秒以下であること	1.2	I
4				1.2.1.1.7	防災メッセージ受信状態において 30 分以上受信状態を保つこと	1.2.1.1	T
4				1.2.1.1.8	避難行動中に受信可能なこと	1.2.1.1	I
3	1.2.1.2	防災情報取得部	M	1.2.1.2	ユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得すること	S 要求 (5)	D
4			M	1.2.1.2.1	ユーザーのいるエリアに応じた防災メッセージをフィルタリングすること	1.2.1.2, Use case	D
4			M	1.2.1.2.2	防災メッセージを防災情報に復号すること	1.2.1.2, Use case	D
3	1.2.1.3	防災情報提供部	M	1.2.1.3	携帯している端末で防災情報を提供すること	1.2	D
4			M	1.2.1.3.1	防災メッセージの受信状況を通知すること	防災メッセージ受信状況の分析より	D
4			M	1.2.1.3.2	新しい防災情報取得時に通知すること	1.2, Use case	D
4			M	1.2.1.3.3	取得した防災情報を表示すること	1.2, Use case	D
4			M	1.2.1.3.4	防災情報の履歴を表示すること	S 要求 (10)	D

レベル	ID	Name	M/B	要求	根拠	検証方法
4			M	1.2.1.3.5 避難行動中に表示すること	1.2.1.3	D
2	1.2.2	避難支援情報提供システム	M	1.2.2 情報空白期において避難支援情報を提供すること	1.2.2.1-1.2.2.5	D
3			M	1.2.2.1 危険地域を表示すること	S 要求(8)	D
3			B	1.2.2.2 周辺地図を表示すること	S 要求(9)	D
3			B	1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	S 要求(9)	D
3			M	1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	S 要求(9)	D
3			M	1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	目的	D

3.2 アーキテクチャ設計

3.2.1 機能設計

3.2.1.1 機能分析

3.1.6 で明らかにしたシステム要求から本システムの機能を明らかにする。表 3-6 に本システムの機能及びそれに対応する要求を示す。

表 3-6 要求と機能の対応

Level	ID	機能名	対応する要求
0	F0	防災情報伝達機能	1
1	F1.1	防災情報送信機能	1.1
3	F1.1.1	(防災情報収集機能)	1.1.1.1
3	F1.1.2	防災メッセージ変換機能	1.1.1.2-6, 1.1.1.8
3	F1.1.3	配信スケジューリング機能	1.1.1.3, 1.1.1.5, 1.1.1.7
1	F1.2	防災情報取得提供・避難支援機能	1.2
2	F1.2.1	防災情報取得提供機能	1.2.1
3	F1.2.1.1	防災メッセージ・位置情報取得機能	1.2.1.1
4	F1.2.1.1.1	防災メッセージ取得機能	1.2.1.1.1, 1.2.1.1.3, 1.2.1.1.6, 1.2.1.1.7
4	F1.2.1.1.2	位置情報取得機能	1.2.1.1.2, 1.2.1.1.4, 1.2.1.1.5
3	F1.2.1.2	防災情報取得機能	1.2.1.2
4	F1.2.1.2.1	エリアフィルタリング機能	1.2.1.2.1
4	F1.2.1.2.2	防災情報復号機能	1.2.1.2.2
3	F1.2.1.3	防災情報提供機能	1.2.1.3
4	F1.2.1.3.1	防災メッセージ受信状況表示機能	1.2.1.3.1
4	F1.2.1.3.2	防災情報通知機能	1.2.1.3.2
4	F1.2.1.3.3	防災情報表示機能	1.2.1.3.3
4	F1.2.1.3.4	防災通知ログ表示機能	1.2.1.3.4
2	F1.2.2	避難支援情報提供機能	1.2.2
3	F1.2.2.1	危険地域表示機能	1.2.2.1, 1.2.2.5

Level	ID	機能名	対応する要求
3	F1.2.2.2	周辺地図表示機能	1.2.2.2, 1.2.2.5
3	F1.2.2.3	ユーザー位置情報表示機能	1.2.2.3, 1.2.2.5
3	F1.2.2.4	避難所位置表示機能	1.2.2.4, 1.2.2.5

3.2.1.2 Functional Flow Block Diagrams (FFBD)

表 3-6 に示した機能について、図 3-5 に示す Function Flow Block Diagrams (FFBD) を用いて機能の流れ及び階層化による細分化を実施した。また、機能間における情報の流れを図 3-6 に示す Enhanced FFBD により整理した。

本システムの機能は、防災情報送信機能及び防災情報取得提供・避難支援機能に大別される。

防災情報送信機能は、防災情報収集機能、防災メッセージ変換機能、配信スケジューリング機能の3つから構成し、防災機関より発表された防災情報を防災メッセージに変換し、準天頂衛星から配信するスケジュールを作成する。なお、本研究では、防災機関からの情報収集は実施せず、防災情報収集機能については対象外とした。

防災情報取得提供・避難支援機能は、防災情報取得提供機能及び避難支援情報提供機能に大別し、防災情報取得提供機能は防災メッセージ・位置情報取得機能、防災情報取得機能、防災情報提供機能の3つから構成した。防災情報取得提供・避難支援機能は、準天頂衛星から防災メッセージ及び GNSS から位置情報を取得し、ユーザーへの防災情報及び避難支援情報を提供する。

防災情報取得提供機能は、準天頂衛星から防災メッセージ及び GNSS から位置情報を取得し、防災情報の提供を行う。防災メッセージ・位置情報取得機能は、防災メッセージ取得機能及び位置情報取得機能から構成し、L1-SAIF 信号を受信し防災メッセージを取得し、GNSS 4 衛星以上から L1/CA 信号を受信しユーザーの位置情報を取得する。防災情報取得機能は、エリアフィルタリング機能及び防災情報復号機能から構成し、取得した防災メッセージに対して、ユーザーの位置情報からユーザーのいるエリアを特定し、ユーザーのいるエリアを対象にしたメッセージのみを選定する。その後、防災メッセージを防災情報に復号する。防災情報提供機能は、防災メッセージ受信状況表示機能、防災情報通知機

能, 防災情報通知ログ表示機能から構成されている。防災メッセージ受信状況表示機能は, 防災メッセージの受信中及び受信不能をユーザーに表示する。防災情報通知機能は, 新しい防災情報を取得した際にユーザーに対して通知する。防災情報通知ログ表示機能は, 防災情報通知で表示した情報を通知ログとして保存し, ユーザーの選択に従って表示する。このため, 防災情報を1度取得した後は直接起動することが可能であり, これまでに受信した防災情報を表示する。

避難支援情報提供機能は, 避難所位置表示機能, 周辺地図表示機能, 危険地域表示機能, ユーザー位置情報表示機能から構成し, これらを使用してユーザーの避難を支援する。避難所位置表示機能は避難所の位置を, 周辺地図表示機能は周辺地図を, 危険地域表示機能は危険地域を, ユーザーの位置情報から一定距離について表示する。また, それぞれについて, ユーザーの位置情報を表示する。

図 3-6 には, 本システムで提供する機能間の情報を合わせて整理した Enhanced FFBD を示す。本システムは, 防災機関で発表された防災情報を, 準天頂衛星を介してユーザーへ提供するとともに, 避難行動を支援する情報の提供を行う。

システムは, 防災情報収集機能で取得した防災情報を防災メッセージ変換機能に送信し, 防災メッセージへ変換する。また, システムは変換した防災メッセージを, 配信スケジューリング機能によりスケジューリングし, QZSS へ出力する。防災メッセージ取得機能では, QZSS より L1-SAIF 信号を受信し, 防災メッセージを取得し, エリアフィルタリング機能, 防災メッセージ受信状況表示機能に送信する。また, 位置情報取得機能では, GNSS より L1/CA 信号を受信し, 位置情報を取得する。システムは, この位置情報をエリアフィルタリング機能, 避難所位置表示機能, 周辺地図表示機能, 危険地域表示機能, ユーザー位置表示機能に送信する。エリアフィルタリング機能では, 受信した防災メッセージ及び位置情報から, ユーザーのいるエリアの防災メッセージを選択し, 防災情報復号機能へ送信する。防災情報復号機能では, 防災メッセージを防災情報に復号し, 防災情報通知機能, 防災情報通知ログ表示機能, 危険地域表示機能に提供する。防災情報通知機能は, 防災情報受信後, 新しい防災情報であればユーザーに通知を行い, 防災情報通知ログ表示機能ではその防災情報のログを表示する。危険地域表示機能では, 位置情報によりユーザーの周囲の危険状況について, 防災情報の災害レベルに応じて提供を行う。また, 避難所位置表

示機能、周辺地図表示機能については、取得した位置情報からユーザーから一定範囲の情報について表示する。ユーザー位置表示機能は、取得した位置情報を使用しユーザー位置を表示する。

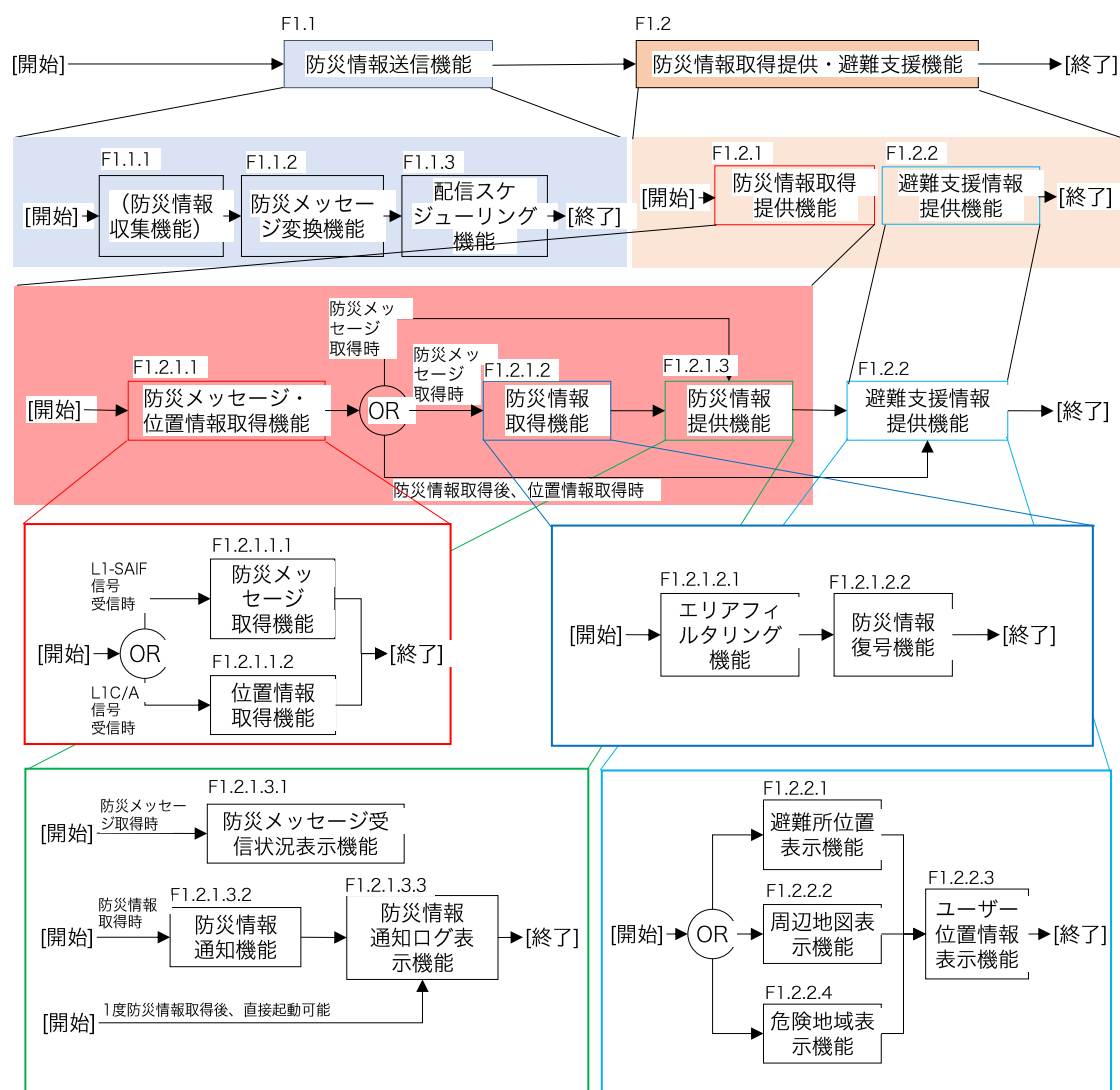


図 3-5 FFBD (Functional Flow Block Diagrams)

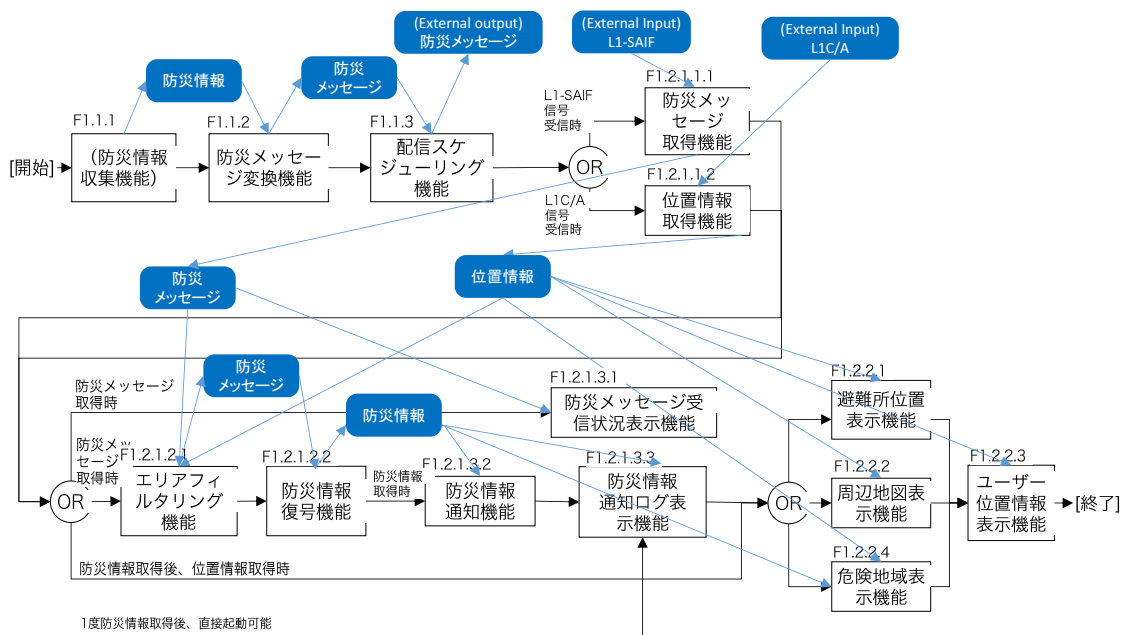


図 3-6 Enhanced FFBD

3.2.1.3 防災メッセージの受信状況の分析

F1.2.1.3.1 の防災メッセージ受信状況表示機能は、防災メッセージの受信状況の分析から導いた。そこで、防災メッセージの受信状況の分析について記載する。

本システムは、準天頂衛星の L1-SAIF 信号を使用しユーザーに対して防災情報を防災メッセージとして配信する。そのため、本システムの機能を検討する上で、都市部における防災メッセージの受信状況を確認する必要がある。そこで、実際に準天頂衛星を利用した市街地における防災メッセージの歩行時における受信実験を行った。受信実験を行うにあたり、図 3-7 に示す実験用のシステムを構築した。実験では防災メッセージとして受信状況が把握しやすいように連続した番号の防災メッセージを作成し、作成した防災メッセージを実験局にて航法メッセージと組み合わせ、実験用地上局より準天頂衛星に送信した。準天頂衛星では、航法メッセージ及び防災メッセージを L1-SAIF 信号に重畳しユーザーに配信した。実際のシステムでは、GNSS 受信機能を搭載した携帯電話端末を想定しているが、本実験においては、GNSS 受信機 (SONY 製 QZPOD) 及びスマートフォン (OS:Android) を使用し、準天頂衛星から配信される L1-SAIF 信号及び L1/CA 信号を GNSS 受信機で受信し、L1-SAIF 信号から防災メッセージを、L1/CA 信号からユー

ザーの位置情報を取得し、Bluetooth を介してスマートフォンに転送した。スマートフォンでは、GNSS 受信機より取得した防災メッセージ及び位置情報を端末上に記録した。

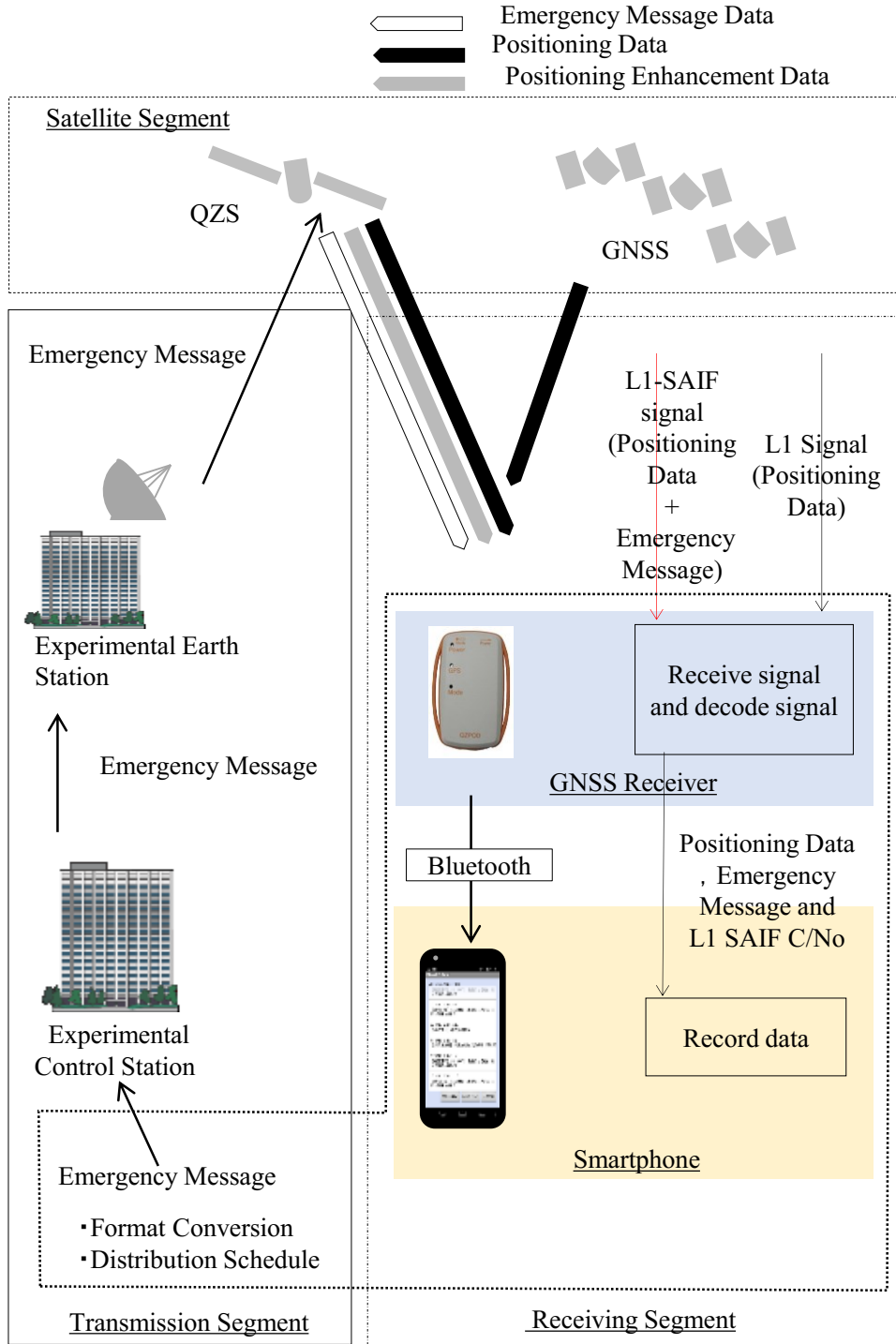


図 3-7 受信実験におけるシステム構成

表 3-7 防災メッセージ受信実験の実験条件

項目	内容
実験日時	2013 年 11 月 19 日 10:40-12:00 15:20-16:00
実験エリア	横浜市みなとみらい地区，横浜駅西口地区
準天頂衛星仰角	81 - 88 degrees
防災メッセージ配信間隔	1 メッセージ / 2 秒

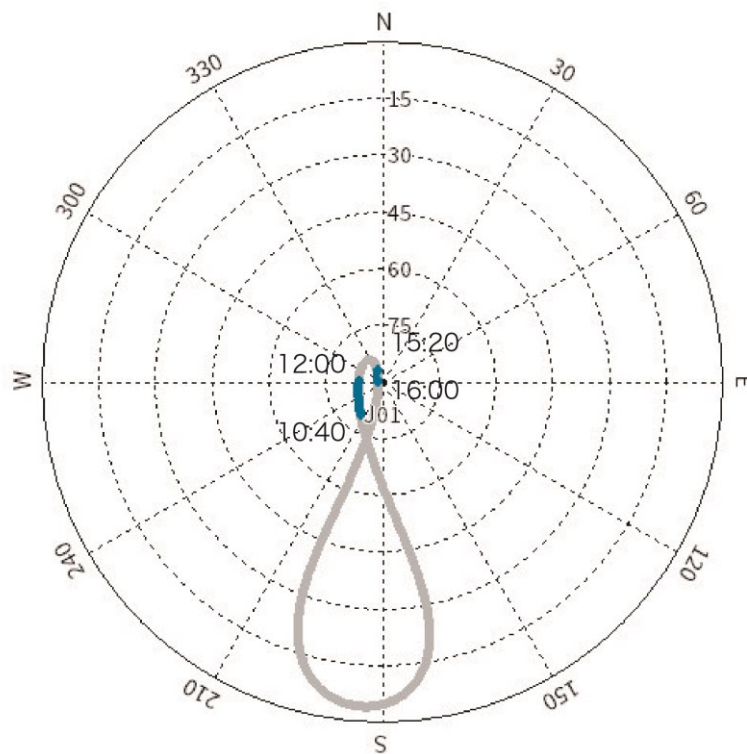
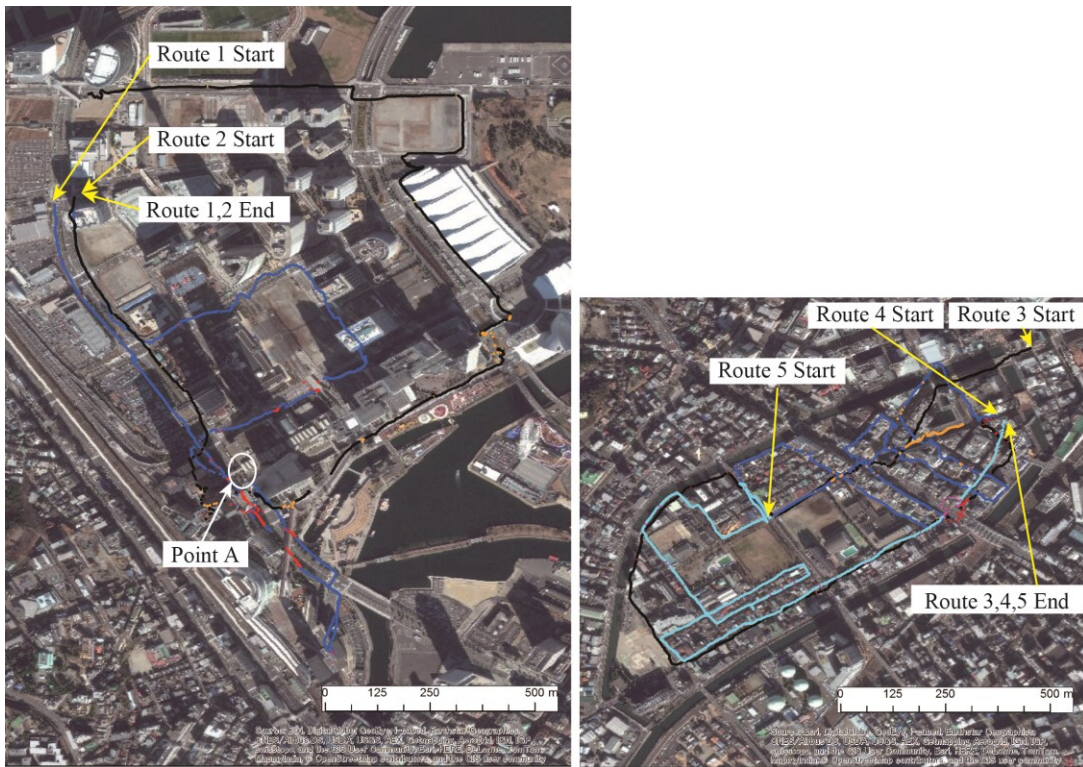


図 3-8 実験時の準天頂衛星の配置

実験は 2013 年 11 月 19 日に日本の横浜エリアにおいて，準天頂衛星が高仰角である時間帯に実施した（図 3-8）．実験ルートは高層ビルがあるが比較的開けているエリアであるみなとみらい地区から 2 ルート，ビルが密集しているエリアである横浜駅西口から 3 ルートとした．配信した防災メッセージは，受信状況の確認のため連続した番号を 2 秒に 1 回の配信間隔で配信した．

図 3-9 に歩行したルートの GPS より取得した移動軌跡及びその際に同時に取得した防災メッセージの取得状況を示す。a) はみなとみらいエリアを、b) は横浜駅西口エリアを示している。防災メッセージを取得した地点については、黒色及び青色のプロットを、位置情報を取得し、防災メッセージを取得していない地点については、赤色、橙色及び桃色のプロットとした。また、図 3-10 には、Route 1 及び Route 4 における防災メッセージ及び L1-SAIF 信号の C/No の時間変化を示した。防災メッセージは受信できたケースを「1」、受信できなかったケースを「0」で示した。結果から概ね信号を受信できているが、信号が欠落している期間を確認した。この欠落については、短時間に発生している欠落と長時間の固まりとして発生している欠落に分けられる。本研究では、前者をランダム欠落、後者をバースト欠落と定義する。特に、バースト欠落は図 3-9 からガード下や高層ビルの周囲などで発生している。これは、本システムを使用するユーザーが衛星から信号を受信するため、ユーザーと衛星の間が遮蔽されることにより発生する欠落である。ガード下については完全に遮蔽されてしまうため欠落は明らかである。そこで、ガード下ではない図 3-9 の Point A において魚眼カメラ（オプト社製 NM33-N）を使用し撮影した天空画像と実験日時における準天頂衛星の配置を重ね合わせた画像を図 3-11 に示す。画像から衛星の軌道がビルに遮られており、受信できなかったと考えられる。このように、高仰角の衛星配置においても高層ビル等の側でかつ準天頂衛星の配置により受信できない状況が発生する可能性がある。しかしながら、避難行動中においてビルから離れることなどで受信状況が改善される場合も考えられるため、このような場合については、ユーザー自身に準天頂衛星の信号の取得状況を提示することで、避難行動の継続や受信状況の改善などをユーザーの判断により委ねることが必要である。また、著しく受信状況が悪く、ユーザーの行動で改善が見られない場合については、高所等の信号の受信状況が良好な場所において、受信した信号を再放射するリピーターの設置や受信した信号からサイレンや音声などで避難を通知するスピーカーの設置等により、ユーザー自身が持つ携帯端末を補完する仕組みが必要であると考えられる。



a) みなとみらいエリア

b) 横浜西口エリア

図 3-9 みなとみらいエリアにおける防災メッセージ受信状況

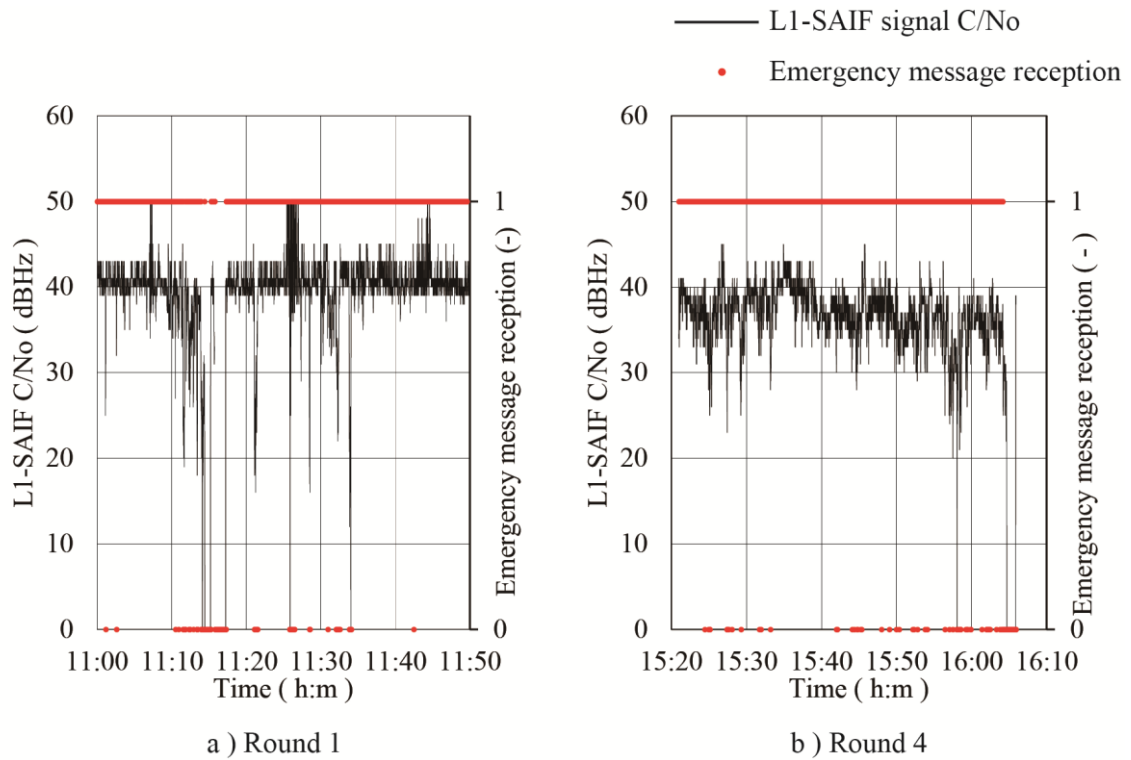


図 3-10 各ルートにおける防災メッセージ及び L1-SAIF 信号 C/No の時間変化

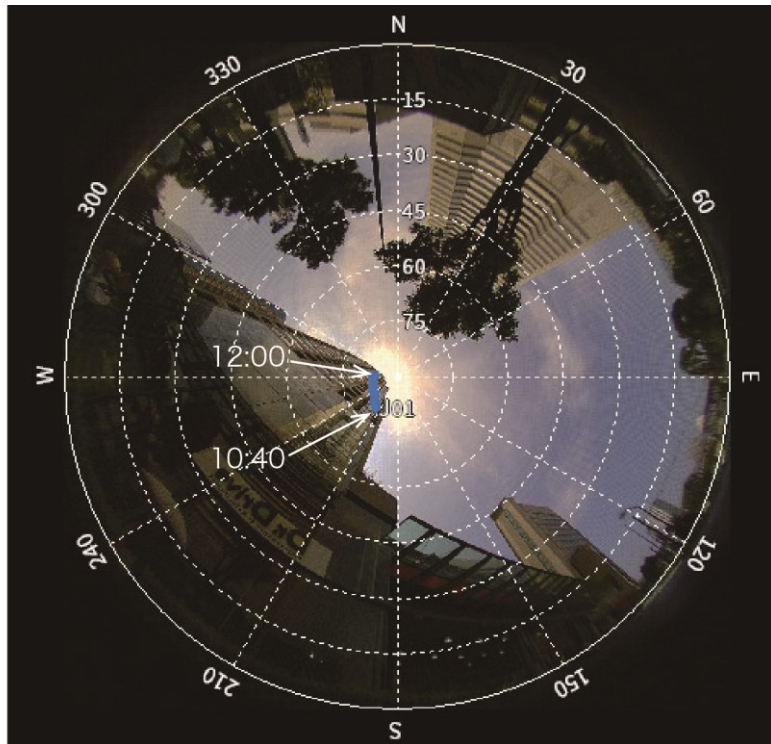


図 3-11 Point A における天空画像及び準天頂衛星の配置

3.2.2 物理設計

3.2.2.1 システム構成

図 3-12 に本研究で対象とするシステムの構成を示す。準天頂衛星を利用した防災情報配信システムは、送信部、衛星部及び受信部の 3 部から構成した。衛星部は、GNSS 及び QZS から構成し、送信部は追跡管制局、マスターコントロール局及び防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムから構成した。受信部は、防災情報取得提供サブシステム及び避難支援情報提供サブシステムから構成した。防災情報取得提供サブシステムはさらに、防災メッセージ・位置情報取得部、防災情報取得部、防災情報提供部の 3 部から構成した。図 3-13 には準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの概要図を示す。準天頂衛星を利用した防災情報配信システムのうち、マスターコントロール局、追跡管制局及び QZS は、外部システムであるモニタ局を含め QZSS の一部であり、準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの一部を担っているものの、既存の機能を利用しているため、本研究の対象は、受信部及び送信部のうち防災メッセージ・変換スケジューリングサブシステムであり、赤のラインで示した範囲とした。

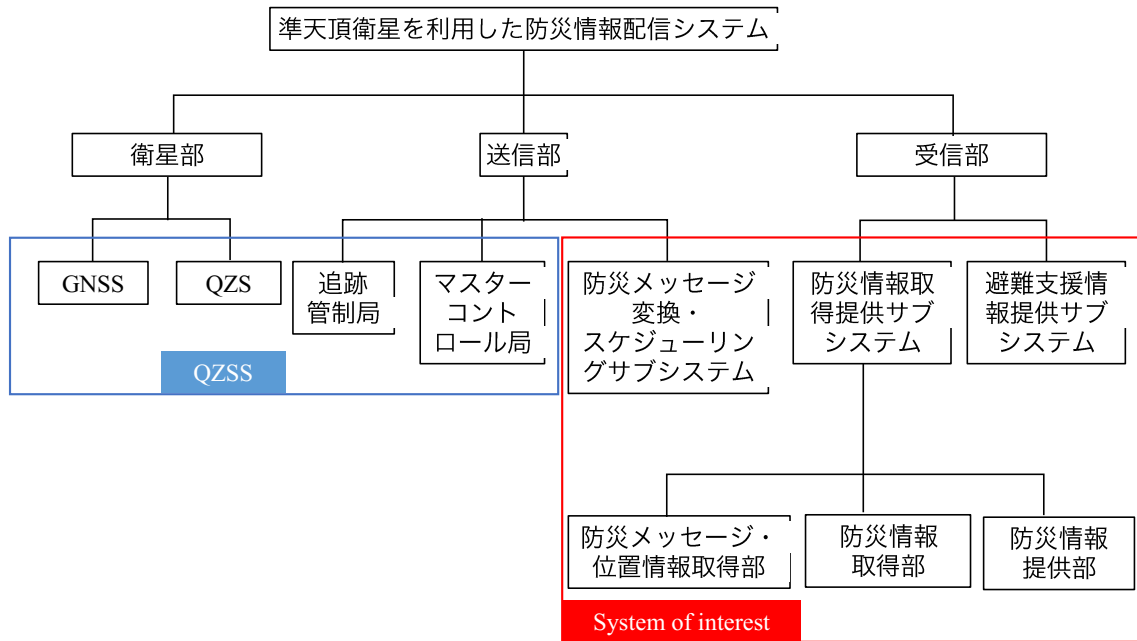


図 3-12 本研究におけるシステム構成

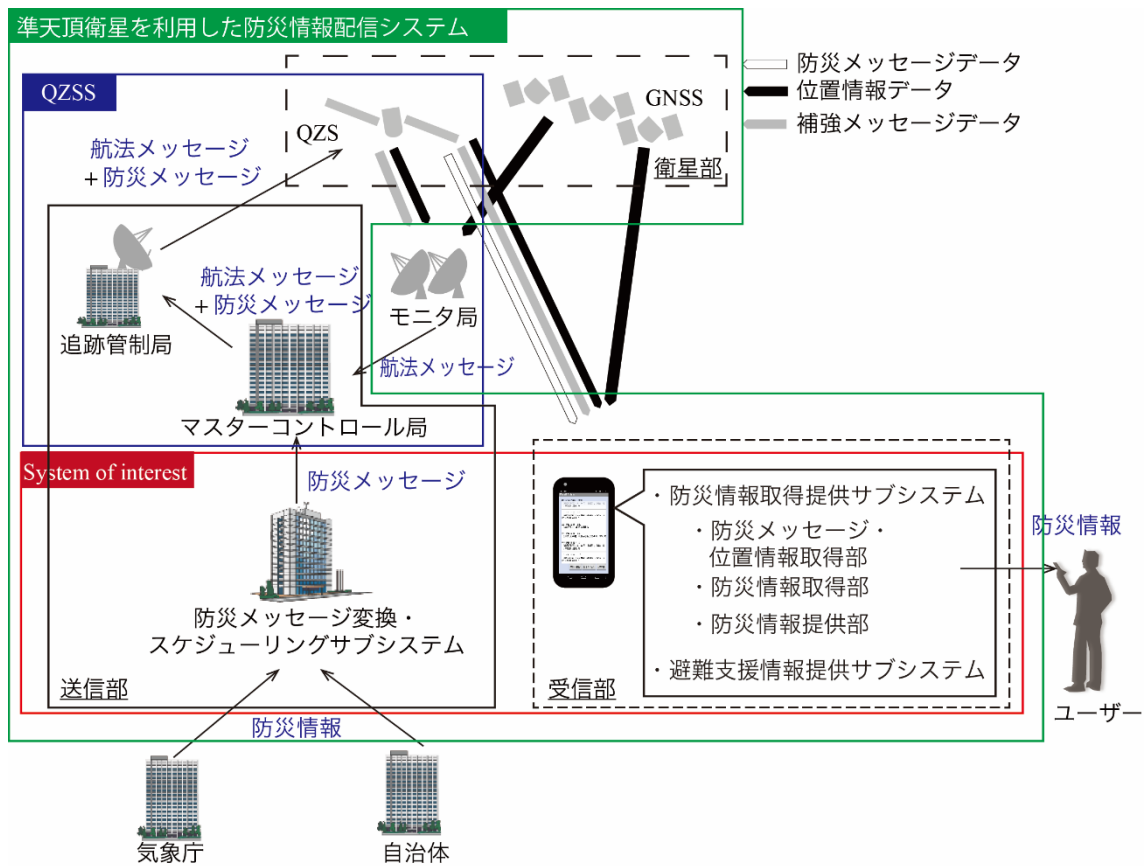


図 3-13 本システムの概要図

3.2.2.2 システム構成への機能の配分

表 3-6 及び図 3-5 にて検討した機能について、図 3-12 に示した各コンポーネントへの機能割付を実施し、アーキテクチャを定義した。図 3-14 に本システムのアーキテクチャ図を示す。なお、準天頂衛星を利用した防災情報配信システムは、緑のラインで示された範囲であり、本研究の対象範囲は赤いラインで示された範囲である。

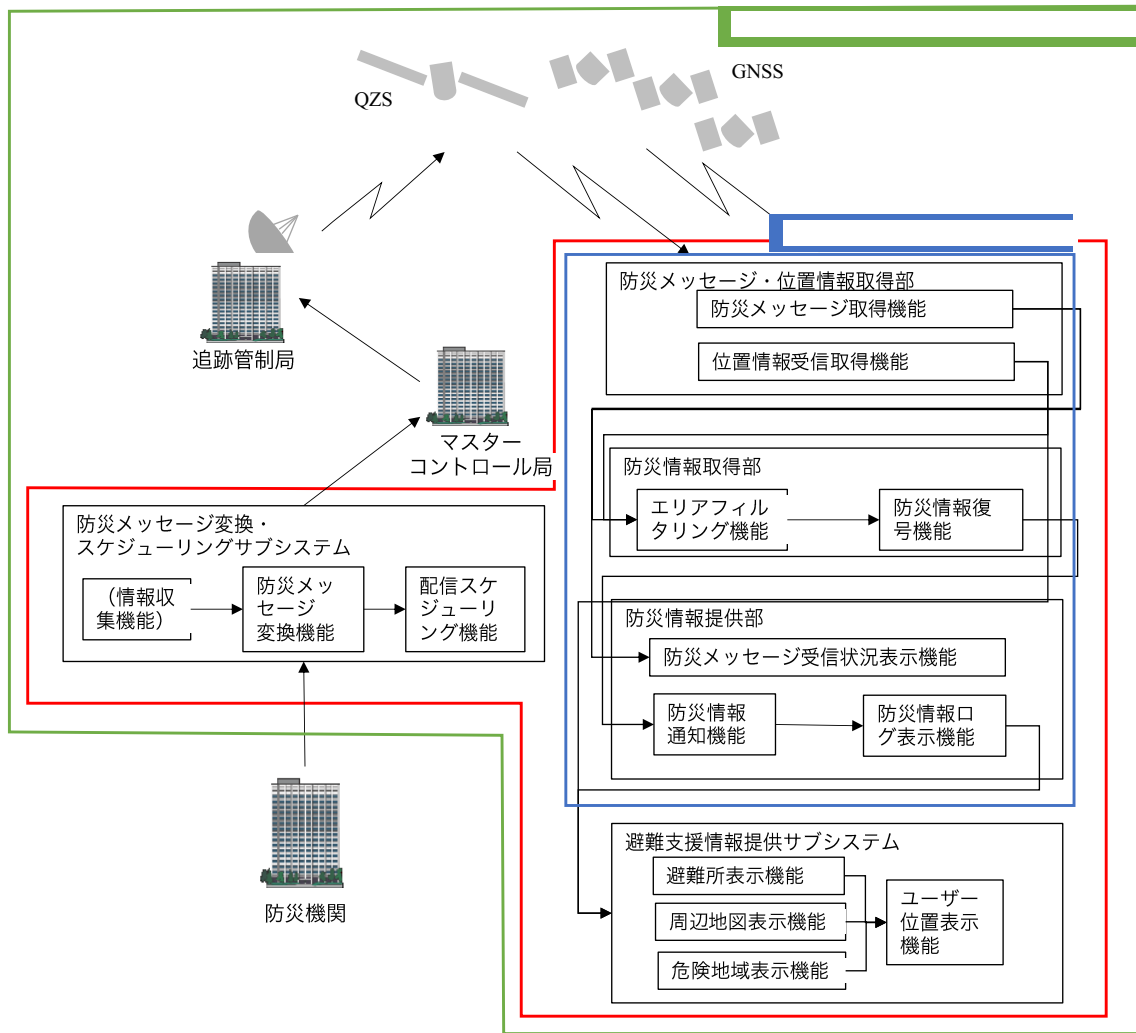


図 3-14 本システムのアーキテクチャ図

3.2.2.3 メッセージフォーマット及び配信スケジュールの設計と検討

本システムの防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムの機能である防災メッセージ変換機能及び配信スケジューリング機能についての物理設計を行う。防災メッセージ変換機能及び配信スケジュール機能に対しての要求をそれぞれ表 3-8 に示す。特に、準天頂衛星で1秒間に配信することのできる情報量は212 bits であり、非常に小容量である。また、準天頂衛星からの配信は受信できるエリアに対して広域同報で配信されるが、本来、防災情報は必要な人に必要な情報を届けなければならない。このため、ユーザーの位置に応じた防災情報を送信する必要があるが、その配信エリアの粒度は細かくするほど情報容量が増えるという課題がある。そこで、本研究では限られた容量の中でユーザーのエリアに応じた防災情報を速報性及び確達性の観点から伝達性を向上するためのメッセージフォーマット及び配信スケジュールを設計し、検討した。

表 3-8 防災メッセージ変換機能及び配信スケジュールについての要求

防災メッセージ変換機能	1.1.1.2	防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換すること
	1.1.1.3	最低限有効な防災情報を必要な時間内（1分50秒以内）に送信すること
	1.1.1.4	送信する防災メッセージの防災情報をエリアに応じて設定すること
	1.1.1.5	ユーザーに最低限有効な防災情報を送信するための配信方法を設定すること
	1.1.1.6	防災メッセージの防災情報領域は、1メッセージ212 bits 以内であること
	1.1.1.8	提供する情報の変更に対応可能なこと
配信スケジューリング機能	1.1.1.3	最低限有効な防災情報を必要な時間内（1分50秒以内）に送信すること
	1.1.1.5	ユーザーに最低限有効な防災情報を送信するための配信方法を設定すること
	1.1.1.7	測位精度が劣化しないこと

3.2.2.3.1 メッセージフォーマットの設計

防災メッセージ変換機能を実現するにあたり、準天頂衛星で配信するための防災メッセージのメッセージフォーマットの設計を行う。まず、表 3-8 の「防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換すること」を満たすメッセージフォーマットの構造を定義する。防災メッセージは、携帯電話等に搭載されている GPS チップで受信可能な GPS L1/CA 信号と同一の中心周波数 1575.42 MHz を持つ L1-SAIF 信号により配信する。L1-SAIF 信号は、サブメータ級の測位精度を提供するための補強メッセージを配信する信号であり、情報速度 250 bps、毎秒 1 メッセージで配信しており、補強メッセージはそのメッセージタイプにより、決められた配信間隔で配信している。防災メッセージは、この補強メッセージと同等の構造を持つことにより、サブメータ級の測位精度を維持する範囲内において、補強メッセージの合間に配信する。このことから、防災メッセージは、図 2-5 に示した L1-SAIF 信号の 250 bits のデータのうち、データ領域である 212 bits を使用して防災情報の定義を行う。この L1-SAIF 信号の限られたデータ容量の範囲内で必要な時間内に、ユーザーの位置に応じた防災情報を送信する必要がある。このため、本研究ではデータのコード化を行い、メッセージフォーマットを定義することで防災メッセージの配信を行う。

本研究では、要求に示す通り、有効な防災情報の提供を行う。この有効な防災情報として、気象庁から提供される防災情報の伝達を考える。本研究で対象とした地震津波災害時では、地震の発生後気象庁から発表される情報のうち、津波からの避難行動のきっかけとなり得る表 3-9 に示す[61][58]防災情報を提供することとする。これらの防災情報については、震源に関する情報の様に全国一律に同じ情報が発表される場合と、津波警報・注意報及び震度速報の様にエリアに応じて異なる情報が発表される場合がある。特に後者については、「送信する防災メッセージの防災情報をエリアに応じて設定すること」として要求にもあげられているが、特定のエリアに対して発表された情報を別のエリアに提供した場合、例えば、津波が発生していない太平洋側に津波が襲来する日本海側の情報を提供した場合、大きな混乱が生じることが予想されるため、エリアに応じて発表された防災情報はその発表されたエリアに応じて提供する必要がある。そこで本研究では、全国一律に同じ情報を送ることを広域同報配信、エリアに応じて情報を提供することをエリア配信と

定義し、それぞれの配信方法に応じたメッセージフォーマットを設計した。

また、本システムは、情報空白期での使用を前提とするとともに、準天頂衛星を利用することから、受信損失の発生も念頭に入れておく必要がある。このため、他の情報システムからの情報提供は想定せずに、本システムのみで情報を提供することが前提となる。また、避難時については、ユーザーの位置は時々刻々と変化するため、準天頂衛星が見通せない位置を通行する可能性もある。準天頂衛星を利用する場合、その限られた容量からメッセージを複数使用し復号することで、より大きな情報をやりとりすることが可能であるが、本研究では受信損失が生じる可能性から情報の伝達性を考慮すると、受信した防災メッセージは1メッセージで防災情報に復号されることが望ましい。そこで、本システムでは、配信方式として1つの防災メッセージのみで復号可能な配信方式を使用する。

続いて、エリア配信のためのメッセージフォーマットの定義を考える。2.2.3の関連研究で示した通り、欧州においてはエリアの指定を中心座標と半径から決める方式を使用している。この方式の場合、状況に応じてエリアを自由に設定できる利点があるが、座標の指定に多くの情報が必要なこと、大きなエリアに対して一括で情報を送る分には問題がないが、日本の沿岸地域に対して津波警報を送るように、複雑なエリアに対して異なる情報を送る場合については、その情報に応じてエリアの指定が必要なため、必要な情報量が増大するという欠点がある。要求では、「ユーザーに最低限有効な防災情報を送信するための配信方法を設定すること」及び「最低限有効な防災情報を必要な時間内（1分50秒以内）に送信すること」があげられており、本来的には配信スケジュールで満たす要求であるが、メッセージフォーマットにおいてもこれらの要求を満足するため、配信する情報をできるだけ小さくすることが求められる。そこで、本研究では、エリアの指定方法として、予めフォーマットの中の領域がどのエリアの情報が入るかを決めておくエリアフラグ方式を使用する。エリアフラグ方式は、予めエリアごとの領域を設定し、その領域にフラグや情報を入れる方式である。例えば、津波警報は、警報の配信及び非配信をフラグで表し、震度速報は、エリア領域に該当する震度を提供する。これは、情報を圧縮するメリットがあるが、その反面、情報を提供しないエリアについての情報領域を空けている分、無駄が生じてしまう。特に、津波情報の津波到達予想時刻や津波高さなどの情報量が多い情報を配信する場合には無駄が多い。そこで、このような情報量が多い場合については、エリアを示

すエリアコードを設定し、エリアコードと共に防災情報を提供するエリアコード方式を使用することとした。これは特にエリアごと異なる情報を送る必要がある場合に使用する。エリアコード方式では、エリアコードを設定する分容量が多くなる一方、情報を提供しないエリアについてはデータを送信しないため、例えば津波情報などの場合、太平洋側で起きた地震において、日本海側沿岸地域については予報が出ない限り情報を提供しないため、その分だけ容量を節約することが可能である。

そこで、本システムでは1種類の同報配信方式用及びエリアフラグ方式及びエリアコード方式の2種類のエリア配信方式用の計3種類のメッセージフォーマットを図 3-15 に示す構造で設計し、表 3-9 に示した各防災情報に対して以下の通り、メッセージフォーマットを定義した。なお、各防災情報のメッセージフォーマットを定義する上で、情報の内容については、気象庁防災情報XMLフォーマットに準じて定義した。設計した各防災情報に対するメッセージフォーマットについて以下に記載する。

表 3-9 提供する防災情報

災害種別	情報の種類	配信する情報の概要	
津波	①津波警報・注意報	大津波警報, 津波警報及び津波注意報	
	②津波情報 (津波到達予想時刻・予想される津波の高さに関する情報)	津波の到達予想時刻及び予想される津波の高さ	
地震	地震情報	③震度速報	震度3以上を観測した地域名 (全国を188地域に区分) ごとの震度
		④震源に関する情報	地震の発生場所 (震源) やその規模 (マグニチュード)
		⑤震源・震度に関する情報	地震の発生場所 (震源) やその規模 (マグニチュード), 震度3以上の地域名ごとの震度

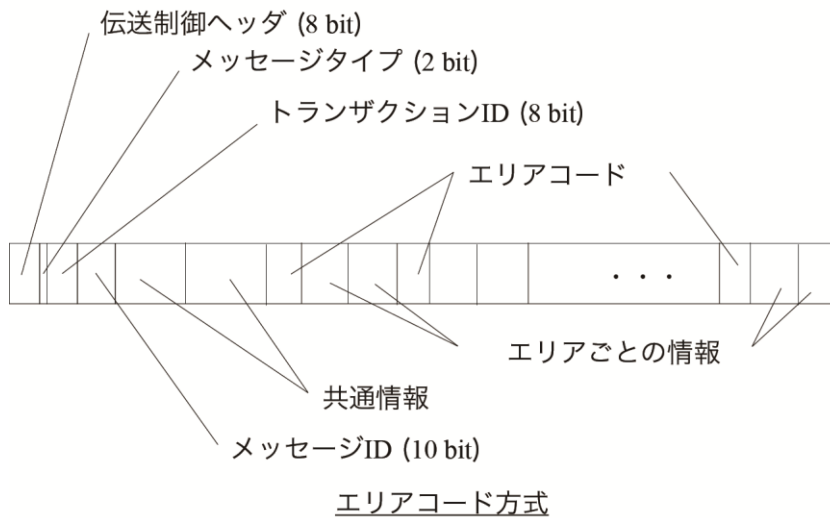
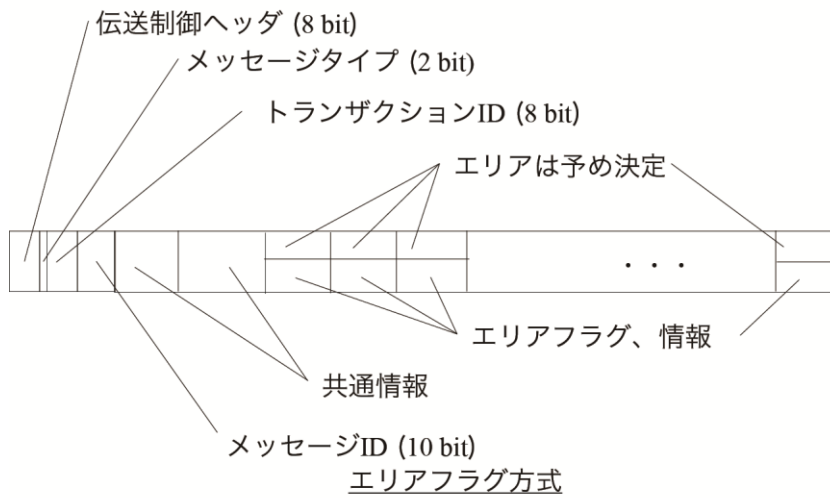
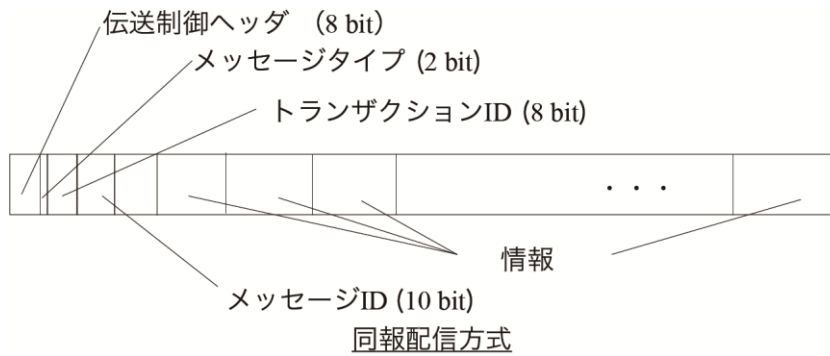


図 3-15 メッセージフォーマット

(1) 津波警報・注意報のメッセージフォーマット

表 3-9 に示す①津波警報・注意報については、エリアフラグ方式を採用し、大津波警報、津波警報及び津波注意報の 3 種類に分け配信することとした。図 3-16 に大津波警報のメッセージ構造例を、表 3-10 に大津波警報のメッセージの内容を示す。防災メッセージで使用可能なデータ領域は 212 bits であり、エリアフラグ方式及びエリアコード方式共に、フォーマット情報として、伝送制御ヘッダ 8 bits、メッセージタイプ 2 bits、トランザクション ID 8 bits、メッセージ ID 10 bits の計 28 (8+2+8+10) bits を使用することとした。なお、大津波警報の共通情報として、発信時刻を 32 bits、発現時刻を 11 bits とし、地震の規模がマグニチュード 8 以上の巨大地震に対しては、大津波警報が「巨大」、津波警報が「高い」、津波注意報は「表記しない」で発表されるため、共通情報において巨大地震のフラグを 1 bit で設定した。また、予想される津波の高さについては、大津波警報が 3 段階、津波警報及び津波注意報が 1 段階で発表されるため、予報区情報は「なし」を加えた 2 bits で表現することとした。このため、津波予報区への予想される津波高さについては現在 66 予報区であるため、132 (2 × 66) bits 必要となる。フォーマット情報 28 bits、大津波警報の共通情報 44 (32 + 11 + 1) bits であり、予報区ごとの予想される津波高さは 132 bits であることから、204 (28 + 44 + 132) bits となり、データ領域は 212 bits のため、1 メッセージで大津波警報を全ての予報区に対して配信することが可能である。また、津波注意報及び津波警報についても同様であることから、大津波警報、津波警報、津波注意報を配信するためには、3 メッセージが必要となる。

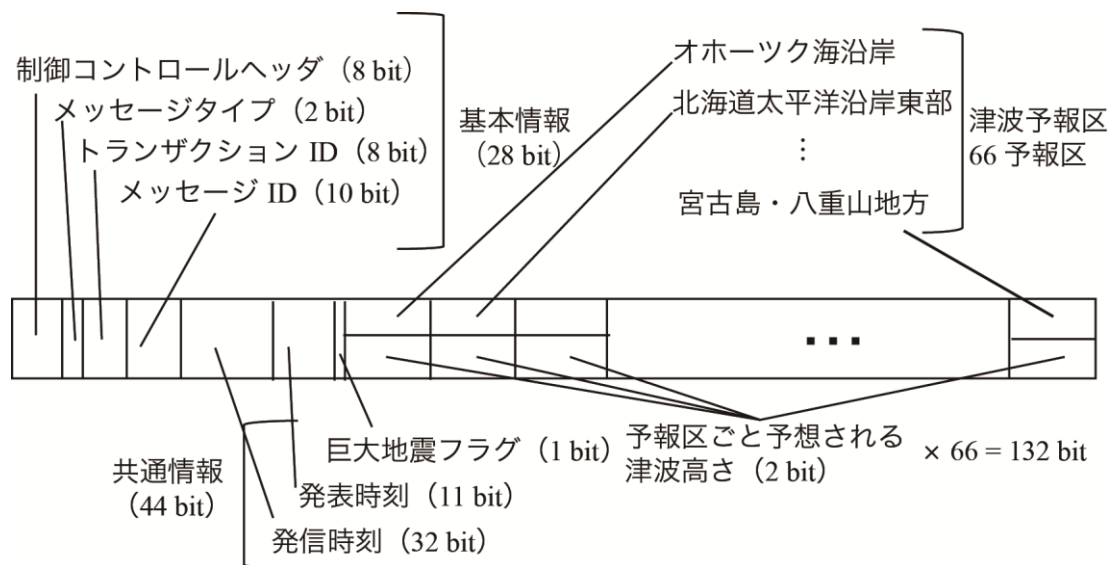


図 3-16 大津波警報のメッセージフォーマットの構造

表 3-10 大津波警報のメッセージフォーマットの内容

番号	名称	内容	例	bit 数	
1	フォーマット情報	-	-	28	
2	共通情報	発信時刻	年月日時分秒	2013 年 12 月 16 日 12 時 00 分 00 秒	32
3		発現時刻	時分	11 時 50 分	11
4		巨大地震のフラグ	フラグ	巨大地震	1
5	エリア情報	1 オホーツク海沿岸の津波高さ	予報区ごと予想される津波高さ*1	10 m	2
		2 北海道太平洋沿岸東部の津波高さ	[5 m, 10 m, 10 m 超, なし]	10 m 超	2
	
		66 宮古島・八重山地方の津波高さ		なし	2
合計 bit 数				204	

*1 巨大地震のフラグが入った際に「なし」以外は「巨大」で表示

(2) 津波情報のメッセージフォーマット

表 3-9 に示す②津波情報については、津波到達時間及び津波高さなど、予報区ごとの情報量が多いためエリアコード方式を採用することとし、また、情報量の節約から津波発生時に情報が提供される予報区のみ防災情報を提供することとした。図 3-17 に、津波情報のメッセージ構造例を示す。津波情報のうち津波の高さについては、XX.XX で表示を行い、津波の高さの有効桁と組み合わせて、有効桁が4桁の場合は、XX.XX、有効桁が3桁の場合は、XX.X、有効桁が2桁の場合は、XX と表現することとした。また、気象庁から発表される津波高さは、XX [m] 「以上」 び 「以下」 で表現される場合があることから、津波高さ範囲を設定した。

津波情報は、警報、注意報があり 66 予報区に配信を行う。津波警報と同様に防災メッセージで使用可能な領域 212 bits の内、フォーマット情報として 28 bits を使用する。また、発信時刻の配信に 32bits を使用する。このため、予報区単位の配信に使える情報量は、152 (212-28-32) bits となる。予報区 1 区に配信する予報区単位の情報は、66 の予報区コード 7 bit、大津波もしくは津波警報のフラグである大津波警報フラグ 1 bit、津波到達予測時刻 11 bits、予想津波高さ 14 bits、津波高さの有効桁 2 bits、津波高さ範囲 2 bits の計 37 (7+1+11+14+2+2) bits とした。このため、152 bits を 1 予報区 37 bits ずつ分けるため、1 メッセージで最大 4 予報区に情報を提供することができる。津波情報は、津波注意報と津波警報（大津波もしくは津波）の 2 つに分かれるため、配信回数が最大となる組み合わせは、津波注意報 1 予報区、津波警報 65 予報区などに配信する場合となる。1 予報区に配信するためには、1 メッセージで配信する必要があり、1 メッセージ 4 予報区配信できることから、65 予報区を 4 予報区で分けると、17 メッセージで配信する必要がある。よって、津波警報の津波情報を発生した全ての予報区に配信するためには、最大 18(1+17) メッセージが必要となる。

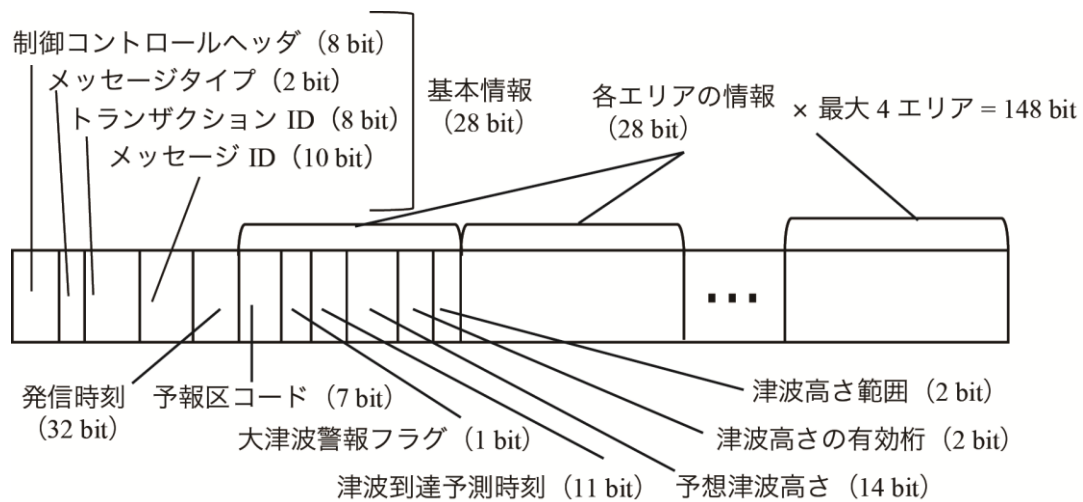


図 3-17 津波情報のメッセージフォーマットの構造

表 3-11 津波情報のメッセージフォーマットの内容

番号	名称	内容	例	bit数	
1	フォーマット情報	-	-	28	
2	発信時刻	年月日時分秒	2013年12月16日 12時00分00秒	32	
3	それぞれのエリアの情報 一 番 目 の エ リ ア の 情 報	予報区	予報区コード	東京湾内湾	7
		大津波警報フラグ	大津波警報 又は津波警報	大津波	1
		津波到達予測時刻	時分	12時30分	11
		予想津波高さ	XX.XX	6.50	14
		津波高さの有効桁	4桁の場合, XX.XX 3桁の場合, XX.X 2桁の場合, XX	4	2
		津波高さ範囲	XX [m]以上, XX [m]以下, 非表示	以上	2
4-6	2番目以降	その他のエリアの情報 (最大3エリア)		最大111	
合計 bit 数				最大208	

(3) 震度速報及び震源に関する情報のメッセージフォーマット

本システムでは、気象庁が発表する地震情報のうち、表 3-9 に示す④震度速報、⑤震源に関する情報、⑥震源・震度に関する情報を対象とする。④震度速報は、気象庁より震度 3 以上を観測した全国を 188 に区分した地域名ごとの震度が発表される。⑤震源に関する情報は、地震の発生場所（震源）やその規模（マグニチュード）について発表され、津波による災害のおそれがあると予想される場合については発表されない。また、⑥震源・震度に関する情報については、地震の発生場所（震源）及びその規模（マグニチュード）並びに震度 3 以上の地域名と市町村名における震度が発表される。また、震度 5 弱以上と考えられる地域で震度を入手していない地点がある場合は、その市町村名が発表される。本研究では、⑥震源・震度に関する情報は、震源に関する情報と震度に関する情報の 2 つに分け、その内の震度に関する情報については地域に対して配信する情報のみを対象とする。このことから、本システムでは、④震度速報及び⑥震源・震度に関する情報のうち震度に関する情報（以下、「震度情報」）については、各地域の震度を図 3-18 のメッセージ構造を使用したエリアフラグ方式で配信を行い、⑤震源に関する情報及び④震源・震度に関する情報のうち震源に関する情報に（以下、「震源情報」）については、震源及びマグニチュードを提供する情報であるため、図 3-19 のメッセージ構造を使用した広域同報方式で配信を行う。震度情報については、188 の地域名を対象として配信を行う。津波警報と同様に、防災メッセージで使用可能な領域 212 bits の内フォーマット情報として 28 bits を使用する。共通情報は、発信時刻 32 bits、発現時刻 11 bits の計 43 (32 + 11) bits 使用する。このため、予報区ごとの震度の配信に使用できる情報量は、141 (212 - 28 - 43) bits となる。予報区 1 区に配信する予報区ごとの震度情報は、10 種類のため 3 bits を使用して配信する。このため、1 メッセージで配信することのできる予報区は 141 bits を 3 bits で分けるため 47 予報区となる。震度は 188 予報区に配信するため、188 予報区を 47 予報区で分けるため、全ての予報区に震度情報を配信するためには 4 メッセージが必要となる。よって、震度情報を全ての地域に配信するためには、4 メッセージが必要となる。また、震源情報については図 3-19 より合計 161 bits のため全国に対して 1 メッセージで配信することが可能である。

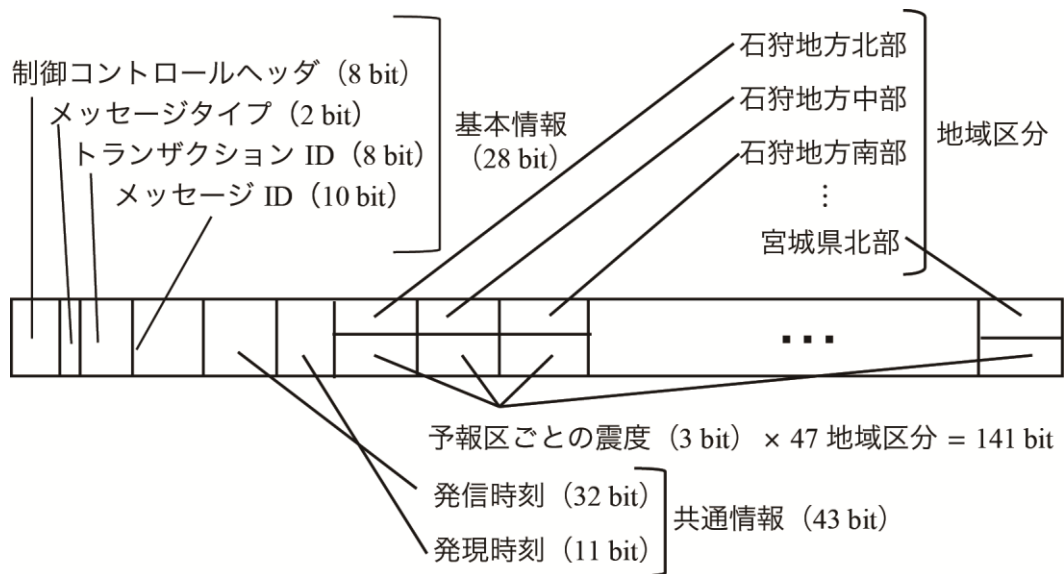


図 3-18 震度情報のメッセージフォーマットの構造

表 3-12 震度情報のメッセージフォーマットの内容

番号	名称	内容	例	bit 数	
1	フォーマット情報	-	-	28	
2	共通情報	発信時刻	年月日時分秒	2013 年 12 月 16 日 12 時 00 分 00 秒	32
3		発現時刻	時分	11 時 50 分	11
4	エリア情報	1 石狩地方北部の震度	地域区分ごとの震度 (3, 4, 5 弱, 5 強, 6 弱, 6 強, 7 又はなし)	4	3
		2 石狩地方中部の震度		5 強	3
		…		…	…
		47 宮城県北部の震度		3	3
合計 bit 数				212	

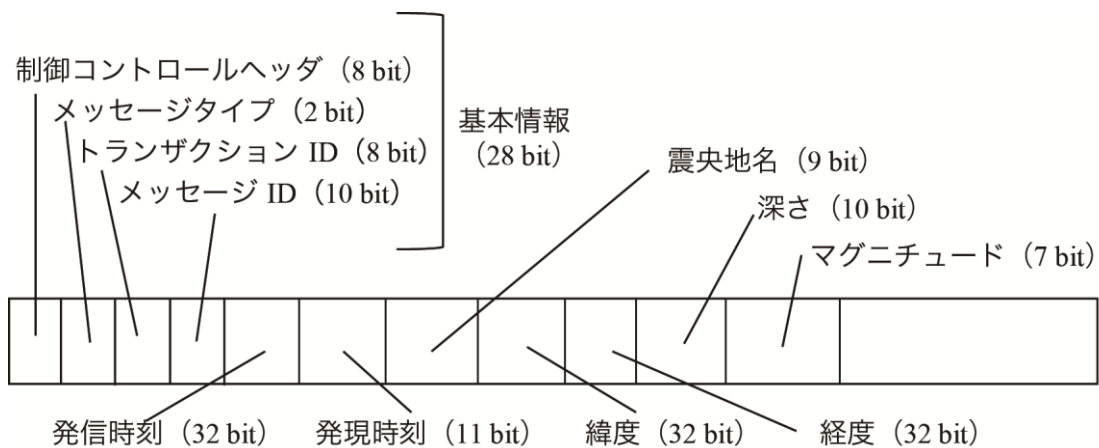


図 3-19 震源情報のメッセージフォーマットの構造

表 3-13 震源情報のメッセージフォーマットの内容

番号	名称	内容	例	bit 数
1	フォーマット情報	-	-	28
2	発信時刻	年月日時分秒	2013年12月16日 12時00分00秒	32
3	発現時刻	時分	11時50	11
4	震央地名	震央地名 332種類	房総半島南方沖	9
5	緯度	緯度	34°47'	32
6	経度	経度	139°23'	32
7	深さ	深さ	10 km	10
8	マグニチュード	マグニチュード	6.6	7
合計 bit 数				161

3.2.2.3.2 配信スケジュールの設計

配信スケジューリング機能を実現するにあたり、配信スケジュールの設計を行う。配信スケジュールへの要求は、「防災情報を必要な時間内に送信すること」及び「受信環境に関わらず最低限有効な防災情報を送信すること」である。本システムでは、準天頂衛星から情報を配信するため、信号の欠落は受信環境により発生してしまう。このため、受信信号の欠落に留意した配信スケジュールの設計を行う必要がある。本研究では、情報の優先度を設定し、津波警報など避難の判断に極めて重要な情報については、ユーザーに早く確実に届けることとした。そこで、情報の伝達性について即時性及び到達性の観点から設計を行った。即時性については情報が発表されてから配信するまでの時間を、到達性については避難行動中に情報が1回以上ユーザーに届くことと定義する。また、それ以外の情報については、情報の発表から配信までの情報の遅れ時間（図 3-20）は許容するが、情報はユーザーに最低限到達するよう設計した。情報の配信における優先度については、優先度が低い情報の配信中に、優先度の高い情報が配信された場合は、優先度の高い情報を優先的に配信することとした。なお、同じ種類の防災情報については最新の情報のみを送信するものとし、同じ優先度の情報の場合は交互に送信するものとした（図 3-21）。

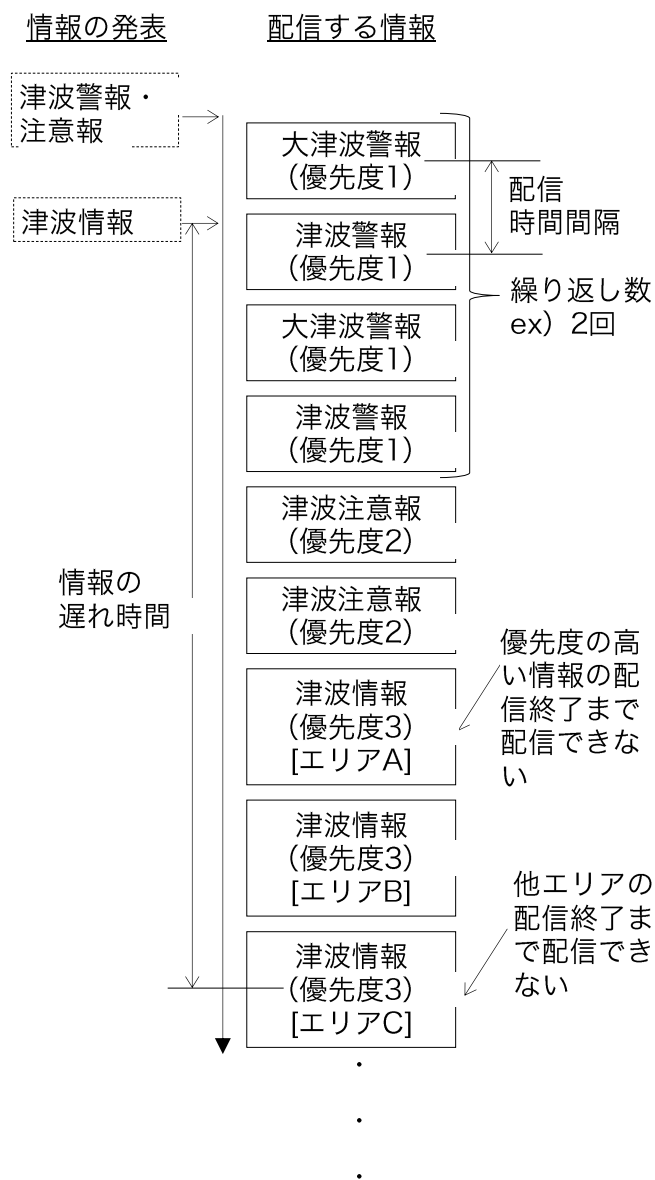


図 3-20 情報の遅れ時間

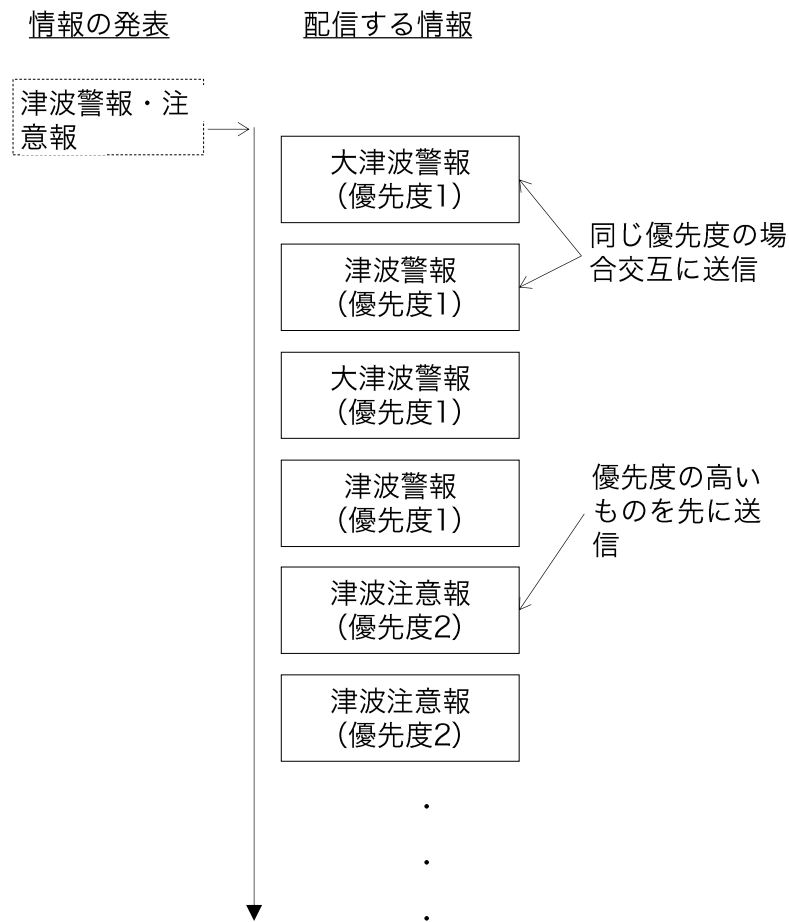


図 3-21 情報の配信例 (優先度)

本システムでは、準天頂衛星を利用して情報を伝達するため、ガード下や建物の陰など、ユーザーから準天頂衛星が見通せない場合については、準天頂衛星からの信号が欠落することが考えられる。信号の欠落は、3.2.1.3の防災メッセージの受信状況で説明したランダム欠落及びバースト欠落であり、防災情報の到達性を確保するため、ランダム欠落に対しては気象庁から発表された情報を配信する際に、図 3-22 に示す通り繰り返し数を設けることで対応を行う。ランダム欠落時に、防災メッセージ 1 回を受信できる確率については、信号の受信確率と繰り返し数の関係から、 α を信号損失率、 n を繰り返し回数、 P を受信確率、 r を取得する必要がある信号数とすると、(1)式で導かれ $r=1$ の場合の繰り返し数と受信できる確率の関係は図 3-23 で示される。

$$P = \sum_{n=0}^n {}_n C_r (1 - \alpha)^r \alpha^{n-r} \quad (1)$$

このことから、本システムでは、信号の受信損失率を 50%と仮定し、95%以上の受信確率で防災メッセージ 1 回を受信するための繰り返し数として、5 回以上を設定した。

バースト欠落については、一定期間情報が欠落してしまうため、この欠落が生じた際には、ユーザーは情報を受信することはできない。また、バースト欠落については、ユーザーの行動や受信環境に依存するため、どのような長さでどのような時間に欠落が生じるか予測することはできない。そのため、最も優先度の高い情報について、避難行動中の到達性を確保する為、情報が発表された直後の配信だけでなく、他の情報を配信していない期間において再配信を行うことで、定常的な配信を行いバースト欠落の影響を極力低下させる。

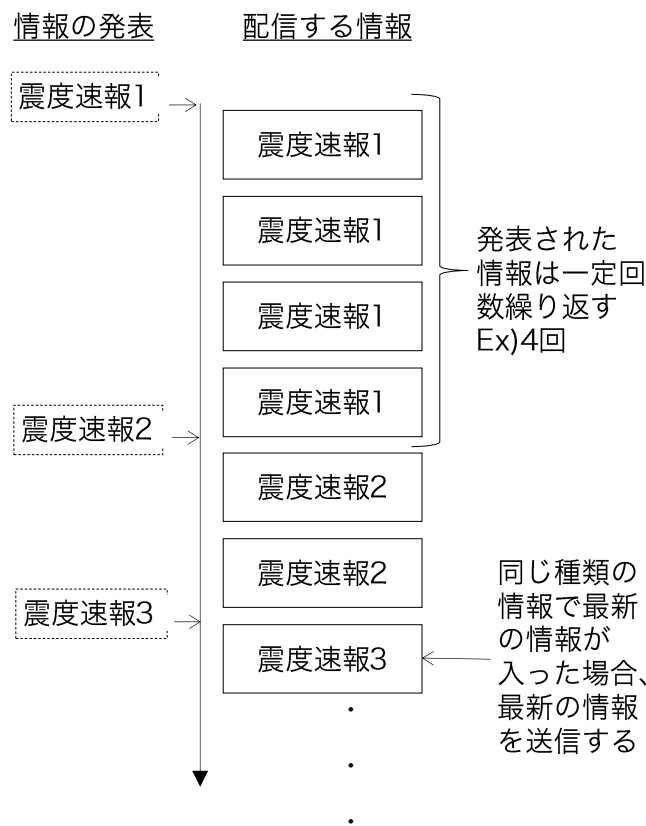


図 3-22 情報の配信例（繰り返し数）

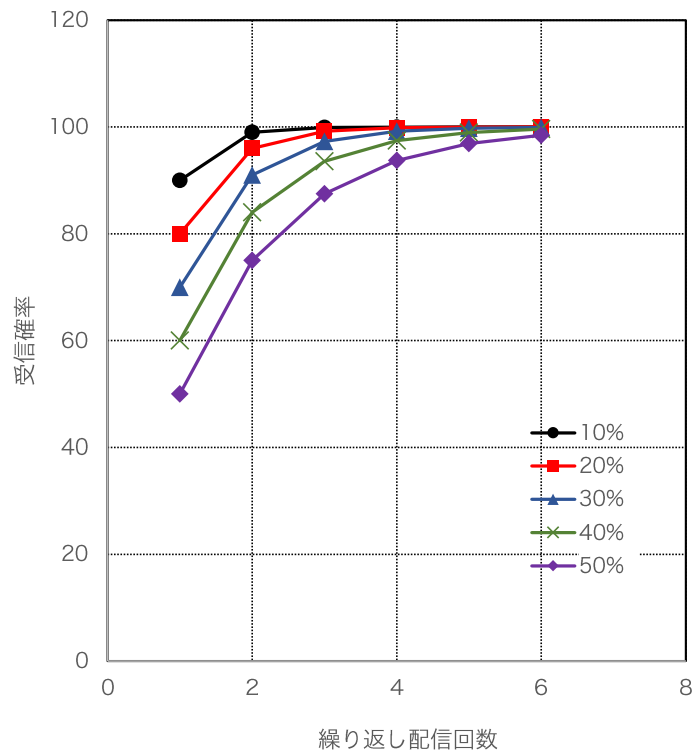


図 3-23 受信確率

本システムでは、津波警報・注意報を最もユーザーに配信すべき情報として、再配信する情報とした。気象庁から発表された直後に情報を配信する際には、津波警報・注意報のうち大津波警報及び津波警報について、津波注意報よりも優先度を高く設定した。再配信時には、大津波警報、津波警報及び津波注意報の3つの優先度を等しくし、大津波警報、津波警報及び津波注意報を交互に配信することとし、再配信時は、気象庁から新たな情報が提供された際には、新たな情報を優先して配信することとした。再配信情報を多く提供するためには、配信時間間隔を短くし、他の情報を送信しない期間を多くするため繰り返し数を減らす必要がある。しかしながら、本システムでは、測位信号の補強信号として使用している準天頂衛星の L1-SAIF 信号を使用していることから、本システムを使用することにより、測位精度を劣化させることがあってはならない。このため配信時間間隔については、測位精度に影響を及ぼさない時間間隔が求められる。坂井らは、毎秒1メッセージで配信している L1-SAIF 信号の全てを測位補強情報に使用していることから、緊急時

に測位補強情報の配信の間に、数秒に1メッセージを、広域緊急メッセージを割り込ませて配信した際に、測位補強機能への影響を確認する目的で検討を行った。検討では広域緊急メッセージの代わりにダミーメッセージを使用し、配信するメッセージ全体数の半数をダミーメッセージに置き換えた際にも、測位精度が劣化しないということを報告している[42]。そこで、本システムでは、配信時間間隔を最短で2秒に1回と設定した。また、繰り返し数については、信号の受信損失率を50%と仮定し、95%以上の受信確率で防災メッセージ1回を受信するために必要な5回以上とした。しかしながら、再配信情報を多く提供するために、繰り返しを減らす必要があるため、繰り返し数は5回と設定した。

以上の検討から、最も避難に影響を及ぼすと想定される津波警報・注意報の即時性、到達性について確保するため、繰り返し数を5回、配信時間間隔を2秒に1回に設定した。

3.2.2.3.3 東日本大震災の事例による検討

設計したメッセージフォーマット及び配信スケジュールについて、実際の災害において提供される防災情報への適用可能性について、東日本大震災時に気象庁から発表された防災情報を使用し検討する。本システムでは、情報の優先度の高い津波警報など避難の判断に極めて重要な情報については、早く確実に届け、それ以外の情報については、情報の発表から配信までの情報の遅れ時間は許容するが、情報はユーザーに最低限到達することを目的としている。そこで、設計したメッセージフォーマット及び配信スケジュールの即時性及び到達性について、東日本大震災時に気象庁から発表された防災情報が、本システムを使用しユーザーに届けるための配信回数及び配信遅れ時間について検討する。本研究では送信部は図 3-13の防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムまでであるが、マスターコントロール局において、航法メッセージと防災メッセージを組み合わせしており、特に、航法メッセージに対する防災メッセージの配信間隔がシステムの即時性に影響を及ぼすことから、評価対象は気象庁から発表された防災情報が防災メッセージとして変換された後、マスターコントロール局において航法メッセージと配信間隔を考慮し準天頂衛星に配信するまでとし配信回数及び遅れ時間を計算した。なお、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムでは気象庁から提供を受けた防災情報を防災メッセージに変換し、設計した配信スケジュールに基づいて優先度や繰り返し数を考慮したスケジュールを

策定している。この場合、発表された情報によっては、他の情報の優先度や繰り返し数により、発表から最初に送信するまでに遅れ時間が発生する。さらに、防災メッセージは、航法メッセージと定められた配信間隔で配信されるため、その分の遅れ時間も考慮に入れ計算を実施した。また、発表された情報に対して繰り返し配信及び再配信を行うことから、配信する防災メッセージの配信回数を計算した。今回の検討を行うにあたり、気象庁から防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムまでの情報伝達時間は0秒と仮定し、気象庁が発表した時間において防災メッセージの配信スケジュールに基づき、マスターコントロール局へと送信されることとした。本検討において使用する設定条件を表 3-14 に示す。配信する情報は、システムが対象としている情報とした。評価対象エリアについては大船渡地域を設定し、日本国内に対して本システムにより防災情報を配信した際には、このエリアで受信することを想定した場合の情報を計算した。また、大船渡地域の津波到来時刻は地震発生から30分後[62]であったことから、防災情報は、15時18分00秒までに配信した情報について解析を実施した。

また、防災メッセージの配信間隔については、前述した通り2秒に1回までは測位信号に影響を及ぼさないことから[42]、2秒に1回、6秒に1回、15秒に1回をパラメータとして与えた。

表 3-15 に該当エリアである大船渡に対して配信した防災情報の配信回数について、防災情報ごとに示す。表 3-16 は、防災情報の遅れ時間を示している。本システムでは、発表された情報を繰り返し配信しているため、発表された情報から最初に送信した情報との時間差を遅れ時間として計測した。また、震度速報については、気象庁から更新された情報が多いため、平均値と最大値で示した。

表 3-14 東日本大震災の事例における検討の設定条件

防災情報	震度速報/震源・震度に関する情報/津波警報・注意報/津波情報
評価対象エリア	大船渡地域 地震：岩手県沿岸南部，津波：岩手県
時間	2011年3月11日14時48分10秒から15時18分00秒
配信間隔	1メッセージ／2秒，6秒，15秒

表 3-15 大船渡に対して配信した防災情報の配信回数

防災情報	発表回数 (回)	配信数 (回)		
		1 メッセージ / 2 s	1 メッセージ / 6 s	1 メッセージ / 15 s
震度速報	34	81	31	15
震源・震度に関する情報のうち震源に関する情報	6	15	10	5
津波警報 (大津波) #1 [14:50:00]	1	152	34	6
津波警報 (大津波) #2 [15:14:11]	1	7	5	5
津波情報 (警報) #1 [14:50:26]	1	5	5	5
津波情報 (警報) #2 [15:14:39]	1	5	5	5
合計	44	265	90	41

表 3-16 防災情報の遅れ時間

防災情報	遅れ時間 (sec)		
	1 メッセージ / 2 s	1 メッセージ / 6 s	1 メッセージ / 15 s
震度速報 (平均)	4	18	67
震度速報 (最大)	89	165	456
津波警報 (大津波) #1	0	4	10
津波警報 (大津波) #2	1	5	14
津波情報 (警報) #1	4	68	209
津波情報 (警報) #2	3	67	211

本システムでは、情報の優先度の高い津波警報・注意報について情報の伝達性を即時性と到達性の観点から検討した。

該当エリアでは、津波警報・注意報のうち津波警報(大津波(現在は大津波警報と表記))が発令されている。このため、津波警報・注意報のうち津波警報(大津波)を対象とする。配信された情報については、全ての配信間隔において、全ての防災情報が5回以上配信されていることが確認できた。配信スケジュールの設計において、ユーザーの受信損失率50%において、95%の受信確率で1回以上ユーザーが防災メッセージを受信するためには、5回以上配信する必要があるため、配信したスケジュールでは、各防災情報とも最低5回の繰り返し配信を行っている。このことから、繰り返し配信は問題なく行うことを確認した。しかしながら、配信する際の優先順位の関係から、表3-16から津波情報は、配信間隔15秒に1メッセージでは約3分程度の遅れが発生しており、配信間隔6秒に1メッセージでは約1分程度の遅れが発生している。最も優先順位の高い津波警報(大津波)については、気象庁の情報の発表からマスターコントロール局が送信するまでの遅れ時間は、配信時間間隔以下となっており、他の情報により遅れ時間が発生することなく配信されているため、津波の危険を伝えることができる。しかしながら、より詳細な情報である津波情報の遅れ時間がユーザーの避難に対する影響を今後把握する必要がある。

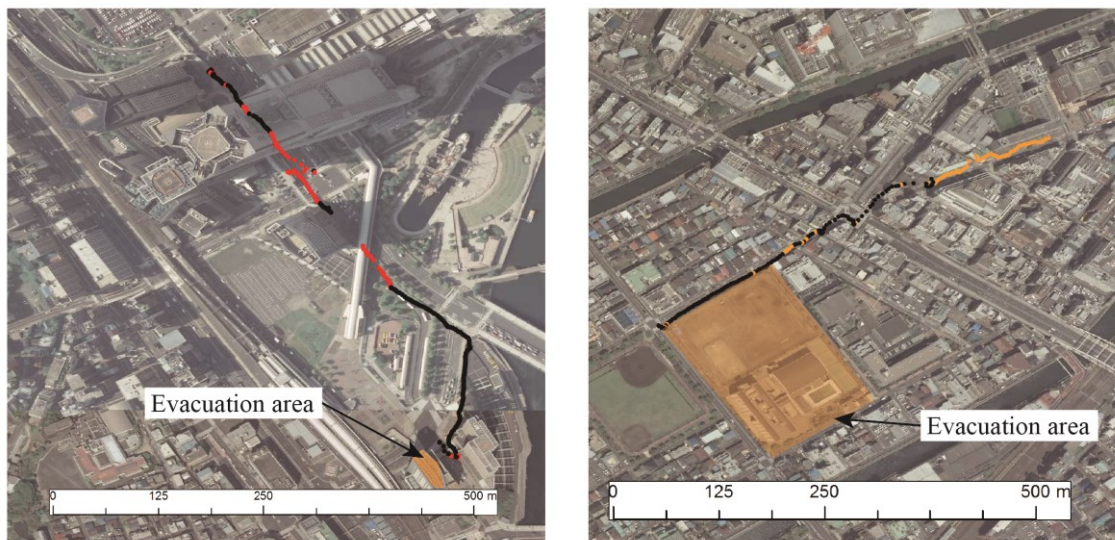
また、最も優先度の高い情報である津波警報(大津波)については再配信を実施している。このため、1回目の発表時において、津波警報(大津波)は、配信間隔2秒に1メッセージでは、該当エリアにおいて152回配信することを確認した。本システムでは、気象庁から発表された直後に、繰り返し数を含み5回配信されることから、152回の配信回数のうち、再配信回数は、147(152-5)回となる。また、再配信された津波警報・注意報を合わせた連続した配信時間は最大で7分7秒で、1分以上配信した回数は3回であった。本システムでは避難時の受信環境によるバースト欠落発生時に対しても到達性を確保することから、優先度の高い津波警報・注意報については、気象庁からの防災情報の発表がない期間についても再配信を行っている。配信間隔6秒に1メッセージの配信においても、1分以上の連続した配信が2回あり、一定以下の配信間隔において、本システムで設計した配信スケジュールでは、情報が空いている時間において津波警報・注意報の再配信が可能である。しかしながら、配信間隔15秒に1メッセージの配信では、1回目の

津波警報（大津波）では、次の津波警報（大津波）が配信される約 24 分間に再配信は 1 回しか行われなかった。このようなことから、バースト欠落への対応を考えた場合、配信間隔 15 秒に 1 メッセージでは配信間隔が長すぎると言える。

3.2.2.3.4 受信実験結果の適用による検討

3.2.2.3.3 項では、防災メッセージのメッセージフォーマット及び配信スケジュールについて、配信性の観点から検討した。しかしながら、ユーザーが防災メッセージを受信する際には受信環境により信号の損失が発生するため、これらを考慮する必要がある。そこで本項では、3.2.1.3 項で取得した位置に応じた防災メッセージの受信状況データを使用し、3.2.2.3.3 項で検討した東日本大震災時の防災メッセージの配信スケジュールを適用することで、ユーザーが避難行動を行う際に取得する防災情報を把握し、受信性の観点から防災メッセージのメッセージフォーマット及び配信スケジュールを検討する。

今回検討に使用する受信実験データは、図 3-9 の防災メッセージ受信状況の結果から、みなとみらいエリアから Route 1 を、横浜駅西口から Route 4 をそれぞれ選択した。Route 1 及び Route 4 はそれぞれのエリアの実験データで最も受信状況が悪い実験結果である。また、今回の検討では、避難状況を想定するため Route 1 及び Route 4 から想定する避難所までの 10 分間の受信データを使用した。その際の歩行ルートを Route 1 - A 及び Route 4 - B とし図 3-24 に示した。



a) Route 1 - A

b) Route 4 - B

図 3-24 検討するルートの防災メッセージの受信状況

(国土地理院空中写真[63]を使用)

今回の検討で使用する防災情報は、東日本大震災で気象庁が発表したデータを元に表 3-17 の形で作成した。使用するデータは、避難時間を 10 分に設定したことから、最初の情報の発表から 10 分間のデータとした。本システムでは、この情報を元に準天頂衛星から配信する配信スケジュールを策定し、ユーザーに提供する。また、配信間隔は 2 秒に 1 メッセージ、6 秒に 1 メッセージ、12 秒に 1 メッセージとした。東日本大震災の事例による検討では、15 秒に 1 メッセージで実施したが、防災メッセージの受信状況の取得データが 2 秒間隔であることから 12 秒に 1 メッセージに設定した。この配信スケジュールを防災メッセージの受信データに適応し、設定した避難ルートでユーザーが避難した際に、予想される防災情報の受信回数を検討した。

表 3-17 検討に使用する防災情報の発表履歴

時間 (分秒)	防災情報
0:00	震度情報 (#1)
0:15	震度情報 (#2)
0:30	震度情報 (#3)
0:45	震度情報 (#4)
1:40	震度情報 (#5)
1:55	震度情報 (#6)
2:10	震度情報 (#7)
2:25	震度情報 (#8)
3:10	津波警報
3:35	震度情報 (#9)
3:36	津波情報
3:50	震度情報 (#10)
4:05	震度情報 (#11)
5:00	震度情報 (#12)
5:15	震度情報 (#13)
5:45	震度情報 (#14)
8:48	震度情報 (#15) & 震源情報 (#1)
8:59	震度情報 (#16) & 震源情報 (#2)

表 3-18 に本システムがこのエリアを対象にして配信した各防災情報の配信回数及び各 Route においてユーザーが受信した防災情報の回数をそれぞれの配信間隔において示す。図 3-25 及び図 3-26 には本検討における各ルートでの防災情報の受信状況を示す。図中の「ON」はその防災情報を受信したことを、「OFF」は受信できなかったことを示す。L1-SAIF signal は防災メッセージの受信状況を示す。なお、Route 1-A では、防災メッセージの受信状況は 71.76 %、Route 4-B では 73.75 % であった。

表 3-18 各ルートにおける各防災情報の受信回数及び配信回数の結果

ルート	防災情報	受信回数／配信回数 (回)		
		1 メッセージ / 2 s	1 メッセージ / 6 s	1 メッセージ / 12 s
Route 1 - A	震度情報	18 / 28	9 / 10	2 / 3
	大津波警報	37 / 52	4 / 9	1 / 5
	津波情報	0 / 5	2 / 5	3 / 5
Route 4 - B	震度情報	11 / 28	5 / 10	0 / 3
	大津波警報	45 / 52	9 / 9	4 / 5
	津波情報	4 / 5	4 / 5	5 / 5

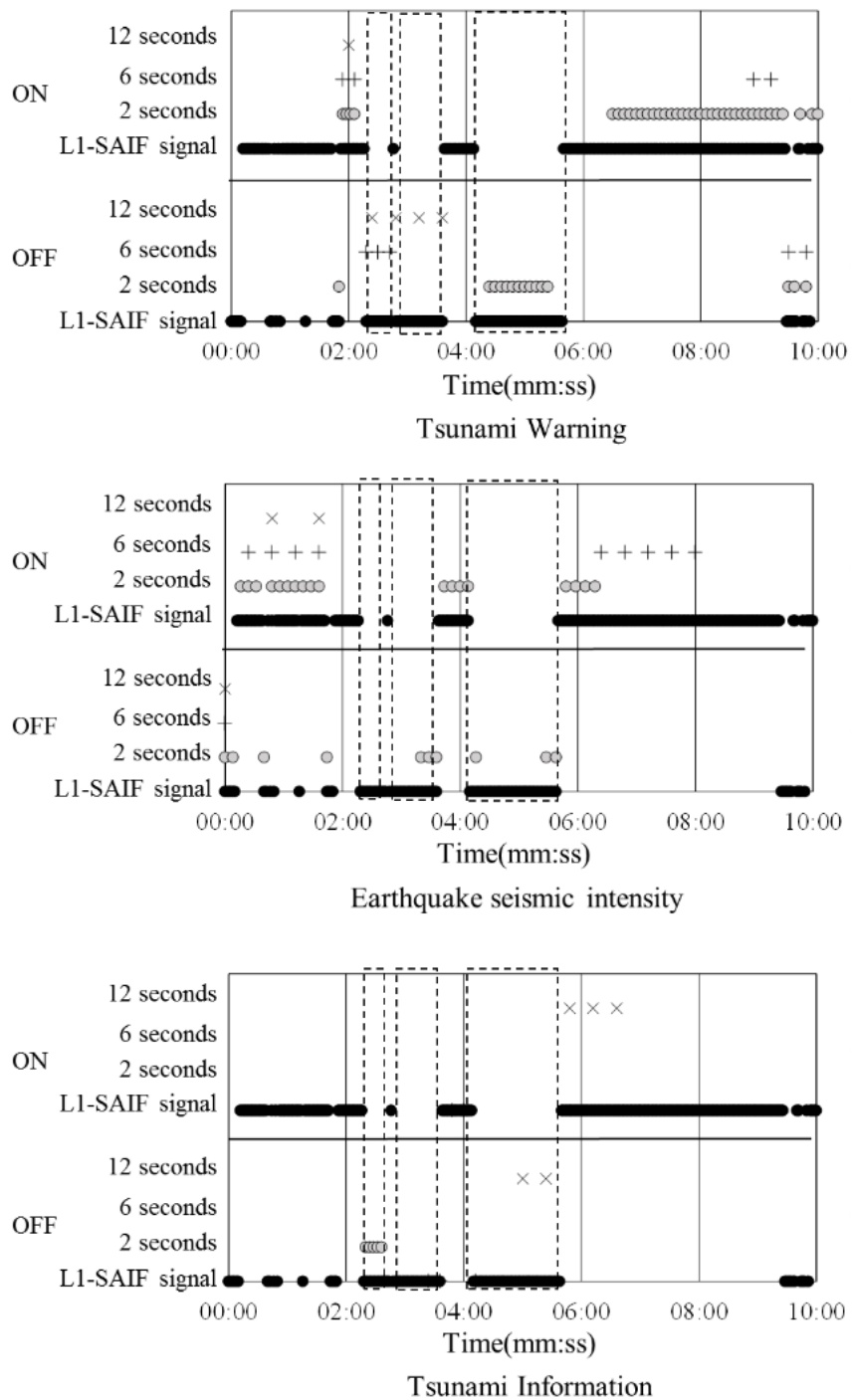


図 3-25 受信実験結果の適用による防災情報の受信状況 (Route 1-A)

実験結果より、本研究で最も優先度の高い津波警報について、各 Route においてそれぞれの配信間隔で 1 回以上受信していることから、設計した防災メッセージのメッセージフォーマット及び配信スケジュールが受信性の観点から有用であることを確認した。特に、配信間隔 2 秒及び 6 秒においては、バースト欠落後に再配信により津波警報の受信が確認できる。しかしながら 12 秒間隔では情報が再配信されていなかった。配信間隔の増大は、ユーザーの優先度の高い情報を受信する割合を減少させるため、配信間隔はできるだけ短くすることが望ましいと考える。

3.2.2.3.5 エリア粒度に対する検討

本システムでは、気象庁が発表する防災情報を配信することを想定しているため、気象庁が定義するエリアに基づいた配信の検討を実施した。しかしながら、本システムの能力として、どの程度細かいエリアに対して、どの程度の情報を送ることか可能かを把握しておくことは重要である。そこで、本研究で検討したメッセージフォーマットを使用し、エリア粒度を変更した際に一定の情報を配信するために必要な時間について検討を実施した。検討は以下の 3 つの仮定の下で実施した。

- (1) 仮定 1 : フォーマット情報 28 bits, 共通情報なし, 配信間隔 1 秒 1 回, 繰り返し数 1 回
- (2) 仮定 2 : フォーマット情報 28 bits, 共通情報 43 bit (発信時刻及び発表時刻を想定), 配信間隔 1 秒 1 回, 繰り返し数 1 回
- (3) 仮定 3 : フォーマット情報 28 bits, 共通情報 43 bit (発信時刻及び発表時刻を想定), 配信間隔 2 秒 1 回, 繰り返し数 5 回

なお、検討するエリアについては、都道府県 47 エリア, 市町村数 1,718 エリア以外に、地域メッシュとして使用されている第 1 次地域区画 (約 80 km), 第 2 次地域区画 (約 10 km), 基準地域メッシュ (約 1 km) を使用した。なお、地域メッシュにおけるエリア数は、世界測地系において湖沼を含めて各都道府県の区域にかかるメッシュ数の総計から、第 1 次地域区画 176 エリア, 第 2 次地域区画 4,874 エリア, 基準地域メッシュ 387,779 エリアとした[64]。

表 3-19 各エリアに配信するためにかかる時間

エリア数	仮定 1		仮定 2		仮定 3
	1 bit	2 bits	1 bit	2 bits	2 bits
47 (都道府県)	1 s	1 s	1 s	1 s	10 s
176 (第 1 次地域区画) 約 80 km	1 s	2 s	2 s	3 s	30 s
1,718 (市町村数)	10 s	20 s	13 s	26 s	260 s (4 m 20 s)
4,874 (第 2 次地域区画) 約 10 km	27 s	55 s	35 s	72 s	720 s (12 m)
38,779 (基準地域メッシュ) 約 1 km	211 s (2 m 31 s)	439 s (7 m 19 s)	276 s (4 m 36 s)	579 s (9 m 39 s)	5,790 s (1 h 36 m 30 s)

配信を想定する情報量については、ON/OFF などのフラグを想定した 1 bit、大津波警報等において 5 m、10 m、10 m 超、なしなどを想定した 2 bits において検討した。

検討結果について表 3-19 に示す。検討結果より、現実的な配信である仮定 3 から、早期に情報を伝える必要のある災害時には、第 2 次地域区画である約 5,000 エリアでは配信に 12 分かかり、基準地域メッシュである約 40,000 エリアでは配信に 1 時間 30 分かかることから、あまり使用としては現実的ではないと考えられる。しかしながら、一定の地域へ配信する災害については、このようなエリア粒度においても、約 2,000 程度のエリア数であれば、約 5 分程度で配信可能であるとも言える。また、緊急性の低く配信までに時間をかけて良い情報であれば、このようなエリア粒度、エリア数で配信するという選択も有り得ると考える。

3.2.2.4 避難支援情報提供サブシステムの設計

避難所表示機能、周辺地図表示機能、危険地域表示機能及びユーザー位置表示機能を持

つ避難支援情報提供サブシステムについて設計を行う。表 3-6 より避難表示機能，周辺地図表示機能，危険地域表示機能及びユーザー位置表示機能に対しての要求をそれぞれ表 3-20 に示す。しかしながら，準天頂衛星で利用可能な情報容量は 212 bits と小容量であるため，準天頂衛星からの防災情報の配信のみでこれらの機能を満足させる情報を提供することは困難である。そこで，ユーザーが所持する端末内部にオフラインデータとして，これらの情報を所持することとする。オフラインデータについては，全ての情報を保持できることが望ましいが，ユーザー自身がどの程度事前に保持するかに影響される。例えば，避難所位置及び避難所情報などと比べ，地図情報及び津波予測浸水深などは情報量が多いため，取得しないユーザーも考えられる。また，ユーザーによっては，生活圏内における情報は事前に取得していても，観光地などに行く際には，事前に取得していないことなども考えられる。このようなことから，本システムでは，オフラインデータの保持した状態に応じた避難支援をコンテンツとして提供することとした。

各コンテンツが避難支援に必要な情報を明らかにするため，8 名の被験者を対象に，準天頂衛星より防災情報を提供し，ハザードマップと提供する防災情報を元に避難行動を行う予備実験を行い，提供した防災情報以外に必要な情報についてヒアリングを行った。実験では，ハザードマップは紙で提供を行い，防災情報は準天頂衛星から GNSS 受信機を介してスマートフォンにて提供した。その結果，防災情報以外に必要な情報として，以下が上げられた。

表 3-20 避難表示機能，周辺地図表示機能，危険地域表示機能
及びユーザー位置表示機能

機能名	要求項目
危険地域表示機能	1.2.2.1 危険地域を表示すること 1.2.2.5 オフラインで提供すること
周辺地図表示機能	1.2.2.2 周辺地図を表示すること 1.2.2.5 オフラインで提供すること
ユーザー位置情報表示機能	1.2.2.3 ユーザーの位置，高さを表示すること
避難所位置表示機能	1.2.2.4 避難所の位置を表示すること 1.2.2.5 オフラインで提供すること

- ・地図表示及び地図における自己位置
- ・避難ルート
- ・標高情報
- ・ハザードマップ（津波浸水予測図）
- ・避難所の場所（高さ情報も含む）
- ・友人や家族の安否情報

しかしながら、避難ルートについては、災害時の状況は時々刻々と変化するためルートを提供することは危険が生じる可能性があることから、本システムでは対象外とする。また、友人や家族の安否情報については、本システムは、準天頂衛星との双方向通信を行うことはできない。このことから、安否情報については対象外とする。

そこで、特に地図表示、地図における自己位置及び避難所の場所を提供するために避難地図提供部を、ハザードマップ（津波浸水予測図）を提供するために津波浸水予測図提供部をコンテンツとして設計する。しかしながら、前述した通り、地図表示及び津波浸水予測図提供部に必要なオフラインデータ容量は多く全ての情報を予め保持する必要がある。そこで、避難所の場所を地図表示としてではなく、自己位置との相対位置として自己位置から避難所までの距離及び方向を示すことで避難所位置の提供を行う避難方向提供部を設計する。この場合、必要なデータは避難所の位置データと自己位置データであり、自己位置は GNSS より位置情報として取得するため、避難所の位置データのみのテキストデータで保持すれば良く、地図データと比較してデータ容量を必要としない。このため、全国の避難所位置データを予め保有することも可能である。また、地図表示では地図上からユーザーが避難する避難所を選択可能であるが、避難方向提供部ではテキスト情報からユーザーが避難場所を選択する必要がある。そこで、避難所を選択するための避難所情報として、自己位置からの距離以外にも避難所の海拔、建物高さなどを提供する必要がある。

そこで、3 種類のコンテンツに対する機能及び要求を表 3-21 に示す。

表 3-21 コンテンツに対する機能割付

番号	コンテンツ名	機能	要求
1	避難方向提供部	ユーザー位置表示機能 避難所表示機能	1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること 1.2.2.4 避難所の位置を表示すること 1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること
2	避難地図提供部	周辺地図表示機能 ユーザー位置表示機能 避難所表示機能	1.2.2.2 周辺地図を表示すること 1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること 1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること 1.2.2.4 ユーザーの位置, 高さを表示すること 1.2.2.5 避難所の位置を表示すること オフラインで避難支援情報を提供すること
3	津波浸水予測図表示	危険地域表示機能 ユーザー位置表示機能 避難所表示機能	1.22.1 危険地域を表示すること 1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること 1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること 1.2.2.4 ユーザーの位置, 高さを表示すること 1.2.2.5 避難所の位置を表示すること オフラインで避難支援情報を提供すること

表 3-22 避難支援情報提供サブシステムの要求項目

コンテンツ名	要求項目	要求根拠
避難支援情報提供サブシステム	1.2.2 避難支援情報を提供すること	1.2.2.1 - 1.2.2.3
	1.2.2.16 オフラインデータの所持容量により提供するコンテンツを変更可能なこと	1.2.2.5
避難方向提供部	1.2.2.3 ユーザーの位置、高さを表示すること	S 要求 (9)
	1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	
	1.2.2.6 避難所の方向を算出すること	1.2.2.4
	1.2.2.7 避難所の距離を算出すること	
	1.2.2.8 避難所の方向を表示すること	
	1.2.2.9 避難所の距離を表示すること	
	1.2.2.10 ユーザーの周囲の避難所を抽出すること	
	1.2.2.11 避難所をユーザーが選択すること	
	1.2.2.12 避難所リストを表示すること	
1.2.2.13 避難所情報を提供すること		
避難地図提供部	1.2.2.2 周辺地図を表示すること	S 要求 (9)
	1.2.2.3 ユーザーの位置、高さを表示すること	S 要求 (9)
	1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	S 要求 (9), 1.2.2.4
	1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	
津波浸水予測図提供部	1.2.2.14 津波浸水予測図を表示すること	1.2.2.1, 1.2.2.2
	1.2.2.3 ユーザーの位置、高さを表示すること	S 要求 (9), 1.2.2.3
	1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	S 要求 (9), 1.2.2.4
	1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	
	1.2.2.15 津波警報のレベルにより津波浸水予測図を更新すること	1.2.2.14

続いて、避難支援情報提供サブシステムについての要求項目についてまとめたものを表 3-22 に示す。

避難方向提供部では、オフラインデータとして避難所位置及び避難所情報のみを保持することを想定しているため、要求 1.2.2.4 の「避難所の位置を表示すること」「オフラインで使用する」とを満足するためには、避難所の位置をユーザーの現在地から方向及び距離によって相対的に表示する必要がある。このため、1.2.2.6 から 1.2.2.9 として、「避難所の方向を算出すること」、「避難所の距離を算出すること」、「避難所の方向を表示すること」及び「避難所の距離を表示すること」を要求とした。また、相対的に表示するためには、避難所を選択する必要がある。本システムでは、前述した通りナビゲーションではなくユーザーの避難支援を行うことから、どの避難所を目指すかについても、ユーザーの判断に委ねる必要がある。このため、ユーザーが避難所情報を元に目指すべき避難所を提供することが求められる。また、オフラインデータとして保存される避難所データは大量にあるため、その全てをユーザーに提供することはユーザーの判断を阻害する。このため、ユーザーの位置から一定範囲の避難所をフィルタリングし提供する必要がある。このことから、1.2.2.10 から 1.2.2.13 として、「ユーザーの周囲の避難所を抽出すること」、「避難所をユーザーが選択すること」、「避難所リスト表示すること」及び「避難所情報を提供すること」を要求とした。

避難地図提供部では、オフライン上でユーザーの周囲のデジタルマップを表示し、マップ上にユーザーの位置データ及び避難所位置を表示するとともに、避難所情報を提供することを想定する。このため、要求については表 3-21 に示した通りとなる。

津波浸水予測図提供部では、危険地域の表示として動的なハザードマップを提供することを想定している。特に、今回の対象は地震・津波災害であるため、危険地域として津波浸水予測図を提供する。そこで、1.2.2.14 に「周囲の津波浸水予測図の表示すること」を要求とした。津波浸水予測図については、あくまで予測であり状況の設定により変化するので、危険の周知としては良いが、安全地域の表示ではない。このため、津波浸水予測図については、津波最悪の状況を表示する方法もあるが、本研究では将来的な動向も見据え、防災情報により津波浸水予測図を切り替えることとする。このため、1.2.2.15 に「津波警報のレベルにより津波浸水予測図を更新すること」を要求とした。

3.2.3 システム要求の更新

機能設計及び物理設計において明らかになったシステム要求について、整理したものを表 3-23 に示す。

1.1.1.5 「ユーザーに最低限有効な防災情報を送信するための配信方法を設定すること」については、メッセージフォーマットの設計から 1.1.5.1 「津波警報・注意報について再配信を設定すること」と 1.1.5.2 「防災情報は最新情報発表後に 5 回以上配信されていること（ただし、更新情報が上書きされた場合を除く）」の 2 つを導いた。また、1.2.1.19 「ノミナルにおける信号損失率が 50% 以下であること」については、配信スケジュールの設計において、ランダム損失により防災情報の配信を阻害させないために繰り返し数を設定しており、1.1.5.2 「防災情報は最新情報発表後に 5 回以上配信されていること（ただし、更新情報が上書きされた場合を除く）」の要求から 5 回の配信において受信確率 95% 以上の確率で 1 回以上受信するためには、信号損失率は 50% 以下が求められていることから、要求として設定した。ノミナルとは、準天頂衛星が高仰角であり、準天頂衛星と防災メッセージ・位置情報取得部の間が遮蔽されず、固定点で受信している状況とする。

避難支援情報提供サブシステムの設計から、3 種類のコンテンツを導いたため、要求をそれぞれに分けるとともに、設計時に明らかにした要求を設定した。また、避難支援情報提供サブシステムの設計から、各コンテンツはユーザーの持つオフラインデータから、使用できるコンテンツを選択できるようにする必要があるため、避難支援情報提供サブシステムの要求として、1.2.2.16 「オフラインデータの所持容量により提供するコンテンツを変更可能なこと」を設定した。

表 3-23 更新されたシステム要求

レベル	ID	名前	要求	根拠
0	0	全体システム	1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を提供すること	1.1-1.4

レベル	ID	名前	要求	根拠
1	1.1	送信部	1.1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換し、迅速に送信すること	1.1.1.3 - 1.1.1.5
2	1.1.1	防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム	1.1.1.1 防災情報を受信すること	1.1, Use case
3			1.1.1.2 防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換すること	S 要求 (12), 1.1, Use case
3			1.1.1.3 最低限有効な防災情報を必要な時間内（1分50秒以内）に送信すること	S 要求 (2)
3			1.1.1.4 送信する防災メッセージの防災情報をエリアに応じて設定すること	S 要求 (5), 1.2.2
3			1.1.1.5 ユーザーに最低限有効な防災情報を送信するための配信方法を設定すること	S 要求 (1, 3, 4)
4			1.1.5.1 津波警報・注意報について再配信を設定すること	1.1.1.5
4			1.1.5.2 防災情報は最新情報発表後に5回以上配信されていること（ただし、更新情報が上書きされた場合を除く）	1.1.1.5
3			1.1.1.6 防災メッセージの防災情報領域は、1メッセージ 212 bits 以内であること	S 要求 (12)
3			1.1.1.7 測位精度が劣化しないこと	S 要求 (13)
3	1.1.1.8 提供する情報の変更に対応可能なこと	S 要求 (11)		

レベル	ID	名前	要求	根拠
1	1.2	受信部	1.2 携帯している端末でユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を取得し，ユーザーに防災情報及び避難支援情報を提供すること	S 要求 (6, 7)
2	1.2.1	防災情報取得提供サブシステム	1.2.1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を取得し，ユーザーに防災情報を提供すること	1.2.1.1 - 1.2.1.3
3	1.2.1.1	防災メッセージ・位置情報取得部	1.2.1.1 携帯している端末で防災メッセージ及び位置情報を取得すること	1.2 Use case
4			1.2.1.1.1 防災メッセージを取得すること	1.2 Use case
4			1.2.1.1.2 位置情報を取得すること	1.2, Use case
4			1.2.1.1.3 L1-SAIF 信号を受信すること	Use case
4			1.2.1.1.4 L1/CA 信号を受信すること	Use case
4			1.2.1.1.5 静止状態においての単独測位の位置精度は 128 m 以下であること	1.2.2.3
4			1.2.1.1.6 信号補足時間が 90 秒以下であること	1.2
4			1.2.1.1.7 防災メッセージ受信状態において 30 分以上受信状態を保つこと	1.2.1.1
4			1.2.1.1.8 避難行動中に受信可能なこと	1.2.1.1
4			1.2.1.1.9 ノミナルにおける信号損失率が 50 % 以下であること	1.1.5.2
3	1.2.2	防災情報取得部	1.2.1.2 ユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得すること	S 要求 (5)
4			1.2.1.2.1 ユーザーのいるエリアに応じた防災メッセージをフィルタリングすること	1.2.1.2, Use case
4			1.2.1.2.2 防災メッセージを防災情報に復号す	1.2.1.2,

レベル	ID	名前	要求	根拠
			ること	Use case
3	1.2.3	防災情報提供部	1.2.1.3 携帯している端末で防災情報を提供すること	1.2
4			1.2.1.3.1 防災メッセージの受信状況を通知すること	防災メッセージ受信状況の分析より
4			1.2.1.3.2 新しい防災情報取得時に通知すること	1.2, Use case
4			1.2.1.3.3 取得した防災情報を表示すること	1.2, Use case
4			1.2.1.3.4 防災情報の履歴を表示すること	S 要求 (10)
4			1.2.1.3.5 避難行動中に表示すること	1.2.1.3
2	1.2.2	避難支援情報提供サブシステム	1.2.2 情報空白期において避難支援情報を提供すること	1.2.4.1-1.2.4.3
2			1.2.2.16 オフラインデータの所持容量により提供するコンテンツを変更可能なこと	1.2.4.5
3	1.2.2.1	避難方向提供部	1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	S 要求 (9)
3			1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	目的
3			1.2.2.6 避難所の方向を算出すること	1.2.2.4
3			1.2.2.7 避難所の距離を算出すること	1.2.2.4
3			1.2.2.8 避難所の方向を表示すること	1.2.2.4
3			1.2.2.9 避難所の距離を表示すること	1.2.2.4
3			1.2.2.10 ユーザーの周囲の避難所を抽出すること	1.2.2.4
3			1.2.2.11 避難所をユーザーが選択すること	1.2.2.4

レベル	ID	名前	要求	根拠
3			1.2.2.12 避難所リストを表示すること	1.2.2.4
3			1.2.2.13 避難所情報を提供すること	1.2.2.4
3	1.2.2.2	避難地図提供部	1.2.2.2 周辺地図を表示すること	S 要求 (9)
3			1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	S 要求 (9)
3			1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	S 要求 (9), 1.2.2.4
3			1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	目的
3	1.2.2.3	津波浸水予測図提供部	1.2.2.14 津波浸水予測図を表示すること	1.2.2.1, 1.2.2.2
3			1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	S 要求 (9), 1.2.2.3
3			1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	S 要求 (9), 1.2.2.4
3			1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	目的

3.3 プロトタイプの実装

3.3.1.1 プロトタイプの概要

システム設計の一部の検証及びシステムの有効性の妥当性を確認するため、プロトタイプを作成した。図 3-27 に設計した本システムのアーキテクチャに対するプロトタイプの実装状況について示す。各機能に対して実装した機能を赤色、一部実装した機能を橙色、未実装の機能を灰色で示した。

防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムでは、情報収集機能を未実装とし、

防災メッセージ変換機能及び配信スケジューリング機能を一部実装とした。防災メッセージ変換機能は、配信する防災情報をメッセージフォーマットに基づき防災メッセージへ変換する。なお、プロトタイプでは、リアルタイム変換及び自動変換は実施していない。配信スケジュール機能は、設計した配信スケジュールのルールに基づいて防災メッセージの配信スケジュールを決定する。なお、プロトタイプでは情報の収集は実施せず、リアルタイムのスケジューリング及び配信スケジュールの自動化は実施していない。また、実証実験時に防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムから配信するメッセージは簡易化したメッセージとした。簡易化したメッセージには ID を割り振り、受信側でその ID に対応したメッセージを表示することとした。

防災メッセージ・位置情報取得部は、防災メッセージ取得機能及び位置情報取得機能を持つ GNSS 受信機を使用した。なお、プロトタイプでは、外部端末として実装した。

防災情報取得部では、エリアフィルタリング機能及び防災情報復号機能を一部実装とした。エリアフィルタリング機能は、ID に対応したメッセージのフィルタリングを実施したが、位置情報の利用については未実装である。防災情報復号機能では、設計したフォーマットの一部について防災メッセージから防災情報の復号を実施した。なお、実証実験時には、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムから ID を割り振り簡易化したメッセージを受信し、防災情報取得部で、対応した ID のメッセージをフィルタリングし、防災情報に復号した。

防災情報提供部では、防災メッセージ受信状況表示機能、防災情報通知機能、防災情報ログ表示機能を実装した。

避難支援情報提供サブシステムでは、避難所表示機能、周辺地図表示機能及び危険地域表示機能を一部実装し、ユーザー位置表示機能を実装した。避難所表示機能、周辺地図表示機能及び危険地域表示機能では、本来はオフラインデータを所持し情報の提供を行うが、プロトタイプではオンライン上で地図データ等を取得することとした。

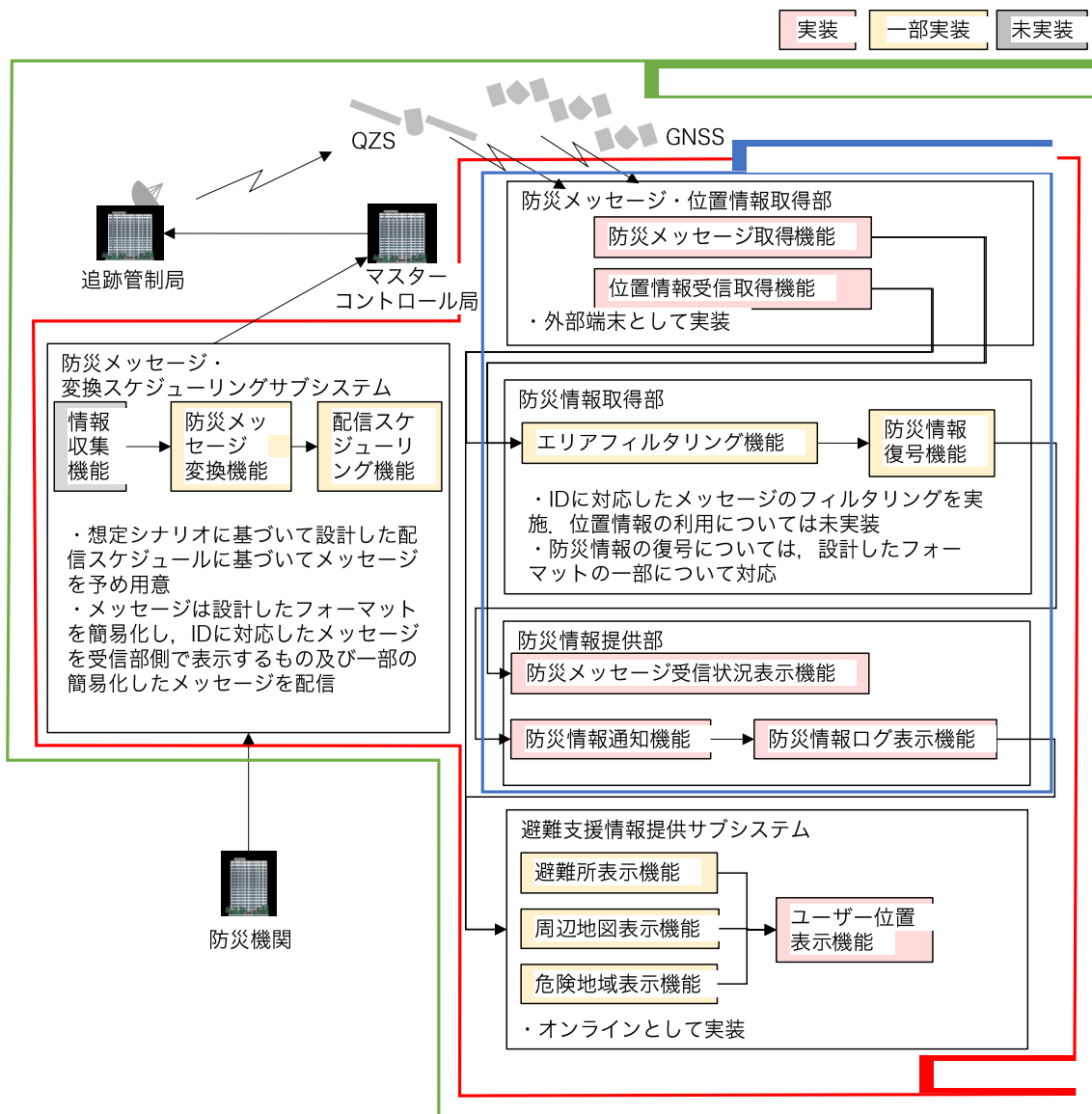


図 3-27 プロトタイプシステムのアーキテクチャ

3.3.1.2 防災情報提供部の実装

防災情報取得提供部及び避難支援情報提供サブシステムについては、実証実験において被験者が実際に使用することから、作成したプロトタイプの概要についての述べる。

防災情報提供部のプロトタイプは、Android 端末で動作するアプリケーションとした。試作したアプリケーションの画面仕様を図 3-28 に示す。防災メッセージの受信状況については、防災メッセージは一定の配信間隔で配信されており、最短 2 秒の場合受信状況が 2 秒間隔で点滅することになるため、一定時間防災メッセージが受信できない時間として

タイムアウト時間を設定し、その時間以上防災メッセージが受信できない際に、アイコンを消灯することとした。なお、防災メッセージ受信時には点灯する。また、防災情報提供部は、図 3-29 に示す通り、防災情報を取得すると画面上に通知を行い、ユーザーが情報を選択することにより、通知画面、防災通知ログ画面を表示することとした。また、防災通知ログ画面の選択により、避難支援情報提供サブシステムのメニュー画面を経由して、防災情報の詳細表示を確認することができる仕様とした。



図 3-28 防災情報提供部画面仕様



図 3-29 防災情報提供部の動作手順

3.3.1.3 避難支援情報提供サブシステムの実装

避難支援情報提供サブシステムのプロトタイプは、Android 端末で動作するアプリケーションとした。試作したコンテンツの概要を表 3-24 に、防災情報提供部を含むコンテンツ間のフローを図 3-30 に示す。各コンテンツは防災情報提供部による通知後、メニュー画面により各コンテンツを使用することが可能である。

表 3-24 避難支援情報提供サブシステム

番号	コンテンツ名	内容	機能
1	避難方向提供部	ユーザーの現在位置から選択した避難先（端末にあらかじめ格納されている避難所情報より選択）までの方向及び距離を表示する	避難所表示機能 ユーザー位置表示機能
2	避難地図提供部	ユーザーの現在位置の周囲地図をユーザーの現在位置及び避難所位置とともに表示する	周辺地図表示機能 避難所表示機能 ユーザー位置表示機能
3	津波浸水予測図提供部	ユーザーの現在位置の周囲における津波浸水深の予測図を表示する	危険地域表示機能 避難所表示機能 ユーザー位置表示機能



図 3-30 コンテンツ間のフロー

(1) 避難方向提供部

避難方向提供部は、ユーザーの現在位置からユーザーが選択した避難所までの方向と距離を示す。特に、避難方向提供部は、内部データとして避難所位置情報及び避難所情報を使用するため、その他のコンテンツと比較して情報量が少ない。また、この避難方向提供部では、あくまでユーザーの避難を支援するものであることから、避難先については、ユーザー自身で避難所情報から選択するものとした。なお、プロトタイプでは、避難所情報として、施設名、施設の標高、建物の高さ等を提供することとした。

図 3-31 に示す避難方向提供部画面では、ユーザーの位置から選択した避難所までの距離を数値により、方向を矢印により示した。災害時には、道路の不通地域などが発生する可能性があることから、避難ルートを提供し避難誘導をすることは、逆に危険が生じる可能性がある。避難方向提供部についても、避難誘導に近い側面を持っているが、情報空白期において避難所を示すことの重要性から採用した。また、ルート自体は定めていないため、ユーザーが危険を判断し、異なるルートを選んだ場合においても、避難所の方向を示すことができるため、避難誘導に比べ危険性は低いと考えられる。



避難所選択画面

避難方向表示画面

図 3-31 避難方向提供部

(2) 避難地図提供部

避難地図提供部は、ユーザーの避難所への避難を支援する。図 3-32 に示す避難地図提供部の画面仕様に示す通り、周辺の避難所位置及び現在位置を周辺地図とともに示す。避難地図提供部は、オフラインデータとして避難所位置情報、避難所情報及び周辺地図情報を使用し、GNSS の測位情報からユーザーの位置情報を取得し、ユーザーの位置及び高さ情報を表示する。なお、避難所位置を選択することにより、避難所情報を表示することとし、コンテンツのプロトタイプでは、施設名、施設の標高、建物の高さを表示することとした。また、システムでは全てオフラインにおける内部データでの提供を想定しているが、コンテンツのプロトタイプでは、Google Maps API を使用し、オフラインで提供するという仮定のもとで提供することとした。

(3) 津波浸水予測図提供部

津波浸水予測図提供部は、ユーザーが避難所へ避難する際に、避難所及び自分の位置の

危険状況を把握するとともに、ユーザーの判断で危険な避難ルートを避けることを支援する。図 3-32 の津波浸水予測図提供部の画面仕様に示す通り、周辺の避難所位置及び現在位置を周辺地図と津波浸水深とともに示す。また、本システムより取得する防災メッセージの津波の警報レベルに応じて、津波浸水予測図を切り替える。現状の津波予測においては、正確な津波浸水予測を表示することはできない。また、津波浸水予測図提供部については、実際にハザードマップ以上の津波が到来した際に、ハザードマップの表示が誤解を与えることへの問題も提起されている。しかしながら、安全地域との認識を与え警戒を解かせることは問題であるが、段階的な危険地域をユーザーに提供しその危険地域を避けることを促すことは、避難支援の観点から有効であると考え、コンテンツとして津波浸水予測図提供部を加えた。津波浸水予測図提供部は、内部データとして避難所位置情報、周辺地図情報及び津波浸水深を使用し、ユーザーの位置情報及び防災情報を使用し、周辺地図とともに、ユーザーの位置、高さ及び津波浸水深情報を表示することとした。また、津波浸水予測図提供部は、避難地図情報表示と同様に、オフラインで提供するという仮定のもとで、コンテンツのプロトタイプでは、Google Maps API を使用し、オンラインで提供することとした。



図 3-32 避難地図提供部及び津波浸水予測図提供部

3.4 評価

本項では、本システムの評価について記載する。本システムの評価は、検証を行った後、妥当性確認を実施した。なお、検証については、図 3-33 に示す通り、コンポーネントの検証から実施し、インテグレーションされたサブシステム、システムについて順次実施した。

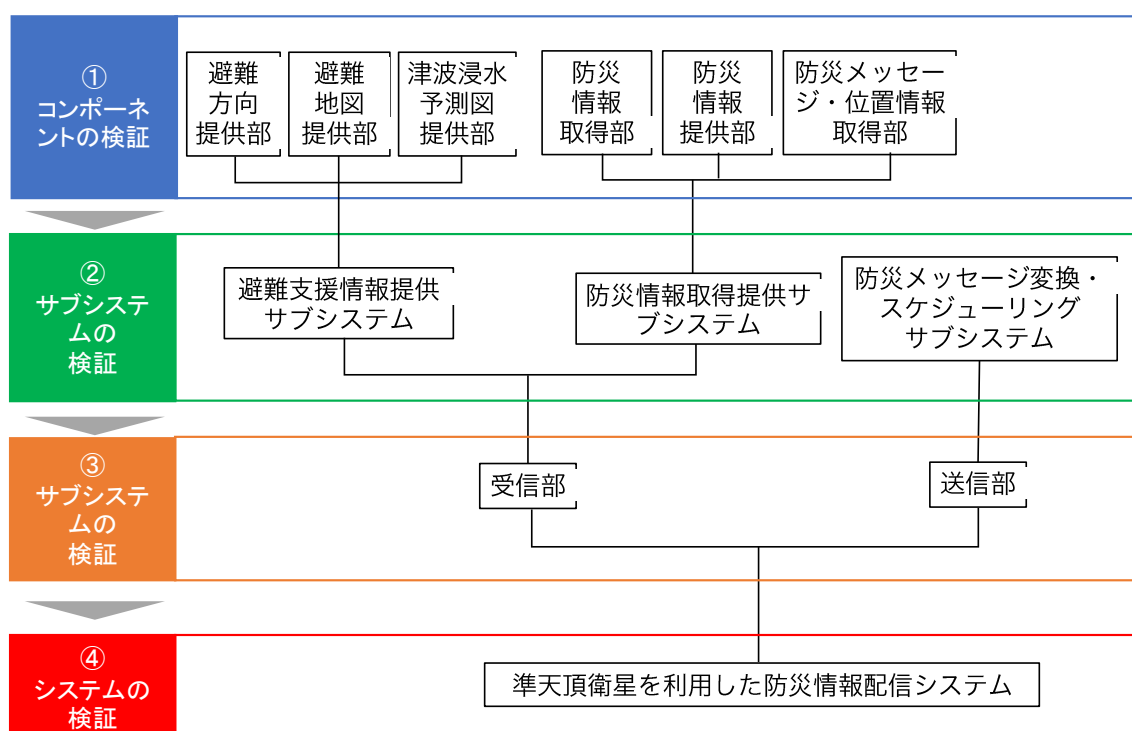


図 3-33 システムのインテグレーション及び検証

3.4.1 コンポーネント及びサブシステムの検証

本システムについて、表 3-23 に示した要求に対して各コンポーネント及び一部のサブシステムについて検証し、要求を満足することを確認した。防災メッセージ・スケジューリングサブシステムについては、最も細分化されているため、他のコンポーネントと同様にここで述べる。検証結果をまとめたものを表 3-25 に示す。詳細については以下に示す。

表 3-25 コンポーネント及びサブシステムの検証結果の一覧

ID	Name	要求	検証結果
1.1.1	防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム	1.1.1.2 防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換すること	○
		1.1.1.3 最低限有効な防災情報を必要な時間内（1分 50 秒以内）に送信すること	○
		1.1.1.4 送信する防災メッセージの防災情報をエリアに応じて設定すること	○
		1.1.5.1 津波警報・注意報について再配信を設定すること	○
		1.1.5.2 防災情報は最新情報発表後に 5 回以上配信されていること（ただし、更新情報が上書きされた場合を除く）	○
		1.1.1.6 防災メッセージの防災情報領域は、1 メッセージ 212 bits 以内であること	○
		1.1.1.7 測位精度を劣化させないこと	○
1.2.1.1	防災メッセージ・位置情報取得部	1.2.1.1.1 防災メッセージを取得すること	○
		1.2.1.1.2 位置情報を取得すること	○
		1.2.1.1.3 L1-SAIF 信号を受信すること	○
		1.2.1.1.4 L1/CA 信号を受信すること	○
		1.2.1.1.5 静止状態における単独測位の位置精度は 128 m 以下であること	○
		1.2.1.1.6 信号補足時間が 90 秒以下であること	○
		1.2.1.1.7 防災メッセージ受信状態において 30 分以上受信状態を保つこと	○
		1.2.1.1.8 避難行動中に受信可能なこと	○
		1.2.1.1.9 ノミナルにおける信号損失率が 50 % 以下であること	○
1.2.1.2	防災情報取得部	1.2.1.2.1 ユーザーのいるエリアに応じた防災メッセージをフィルタリングすること	-
		1.2.1.2.2 防災メッセージを防災情報に復号すること	-

ID	Name	要求	検証結果
1.2.1.3	防災情報提供部	1.2.1.3.1 防災メッセージの受信状況を通知すること	○
		1.2.1.3.2 新しい防災情報取得時に通知すること	○
		1.2.1.3.3 取得した防災情報を表示すること	○
		1.2.1.3.4 防災情報の履歴を表示すること	○
		1.2.1.3.5 避難行動中に表示すること	○
1.2.2.1	避難方向提供部	1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	○
		1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	○
		1.2.2.6 避難所の方向を算出すること	○
		1.2.2.7 避難所の距離を算出すること	○
		1.2.2.8 避難所の方向を表示すること	○
		1.2.2.9 避難所の距離を表示すること	○
		1.2.2.10 ユーザーの周囲の避難所を抽出すること	-
		1.2.2.11 避難所をユーザーが選択すること	○
		1.2.2.12 避難所リストを表示すること	○
1.2.2.13 避難所情報を提供すること	○		
1.2.2.2	避難地図提供部	1.2.2.2 周辺地図を表示すること	○
		1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	○
		1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	○
		1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	-
1.2.2.3	津波浸水予測図提供部	1.2.2.4 津波浸水予測図を表示すること	○
		1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	○
		1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	○
		1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	-

まず、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムの各要求について検証を行った。以下に各要求項目についての詳細を述べる。

(1) 1.1.1.2 「防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換すること」

この要求に対して、対象となる防災情報を設計したメッセージフォーマットに基づいて防災メッセージに変換することを検証項目として設定した。そこで、実際に発表された防災情報に対して、設計したメッセージフォーマットに基づいて防災メッセージに変換し、変換可能であることを確認した。作成した防災メッセージの一例を図 3-34 に示す。使用した防災情報は、2013 年 10 月 26 日 2 時 50 分 (JST) に発表された津波注意報である。気象庁防災情報 XML の津波警報・注意報・予報 a から抜粋した発表内容を表 3-26 に示す。

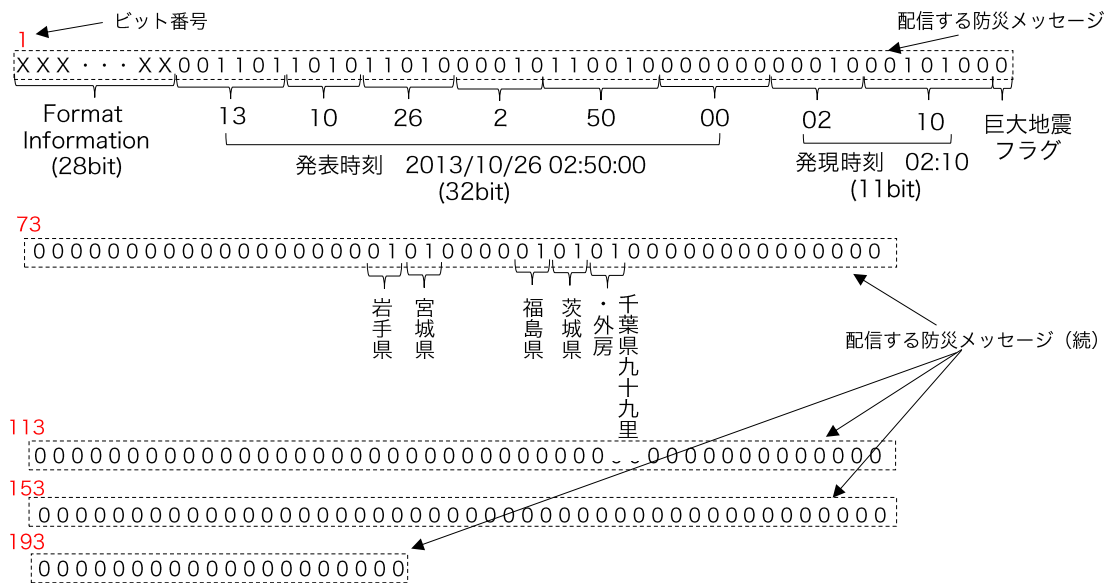


図 3-34 防災メッセージの一例

表 3-26 検証に使用した津波注意報の内容

警報の種別	津波注意報
発表時刻	2013 年 10 月 26 日 02 時 50 分 00 秒 (JST)
発現時刻	2013 年 10 月 26 日 02 時 10 分 00 秒 (JST)
発表された津波予報区	岩手県, 宮城県, 福島県, 茨城県, 千葉九十九里・外房

(2) 1.1.1.3 「最低限有効な防災情報を必要な時間内（受信から 1 分 50 秒以内）に送信すること」

本研究では最低限有効な防災情報として、津波警報・注意報を設定している。そこで、検証項目として、1 分 50 秒以内に津波警報・注意報を送信することを設定した。津波警報・注意報はその警報のレベルに応じて、大津波警報、津波警報、津波注意報の 3 種類のメッセージを配信する。また、対象となる 66 のエリアに対して、本システムは、各警報を 1 メッセージで配信することが可能である。このため、3 つの警報が同時に発表され防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムで受信した場合、大津波警報、津波警報、津波注意報の順で配信することとなる。配信間隔を X 秒で設定した場合、送信直後に情報を受信することを考慮すると、大津波警報は X 秒以内、津波警報は 2X 秒以内、津波注意報は 3X 秒以内に送信することが可能である。本研究では、配信間隔は 2 秒を想定しているため、最も送信するまで時間のかかる津波注意報においても、6 秒以内に送信することが可能である。また、配信間隔の検討において検討した 6 秒間隔の場合においても、津波注意報は 18 秒以内に送信することが可能である。今回の検討においては、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム内における配信スケジュールの処理等にかかる時間等を考慮していないが、数秒オーダーと考えられるため、配信間隔 6 秒においても受信から 1 分 50 秒以内に送信可能であると考えられる。

(3) 1.1.1.4 「送信する防災メッセージの防災情報をエリアに応じて設定すること」

この要求に対して、設計したメッセージフォーマットに基づいて変換した防災メッセージにおいて、各防災情報がエリアに応じて設置されていることを検証項目として設定した。そこで、実際に発表された防災情報に対して、設計したフォーマットに基づいて変換した防災メッセージの防災情報がエリアに応じて設定されていることを確認した。図 3-37 の津波注意報の一例からも、津波注意報において各エリアに応じて津波注意報に対するフラグが設定されており、エリアに応じて防災情報が設定されていることを確認した。

(4) 1.1.1.5.1 「津波警報・注意報について再配信を設定すること」

この要求に対して、実災害時に気象庁から発表された防災情報に対して作成した配信ス

ケジュールにおいて、津波警報・注意報が再配信されることを検証項目として設定した。3.2.2.3.3 の東日本大震災の検討結果より、表 3-15 において津波警報が 2 秒に 1 回の配信間隔において 147 回再配信されていることを確認し、検証項目を満足することを確認した。

(5) 1.1.1.5.2 「防災情報は最新情報発表後に 5 回以上配信されていること（ただし、更新情報が上書きされた場合を除く）」

この要求に対して、実災害時に気象庁から発表された防災情報に対して作成した配信スケジュールにおいて、防災情報が最新情報発表後に 5 回以上配信されていることを検証項目として設定した。3.2.2.3.3 の東日本大震災の検討結果より、表 3-15 において 2 秒に 1 回の配信間隔において各防災情報が 5 回以上配信されていることを確認し、検証項目を満足することを確認した。

(6) 防災メッセージの防災情報領域は、1 メッセージ 212 bits 以内であること

この要求に対して、対象とする防災情報を設計したメッセージフォーマットに基づいて防災メッセージを変換した際に、防災メッセージの防災情報領域が 1 メッセージ 212 bits 以内であることを検証項目として設定した。図 3-34 より、防災メッセージの防災情報領域が 1 メッセージ 212 bits 以内であることを確認し、検証項目を満足することを確認した。

(7) 測位精度を劣化させないこと

この要求に対して、設定した配信間隔に対して、測位補強の精度を劣化させないことを検証項目として設定した。坂井ら[42]の研究から、配信間隔が 2 秒に 1 メッセージまでにおいては、測位補強の精度を劣化させないことから、検証項目を満足することを確認した。

続いて防災メッセージ・位置情報取得部について各要求について検証を実施した。防災メッセージ・位置情報取得部は、実用上は端末内部に GNSS 受信チップを搭載することを

信号を受信することを確認した。

(5) 1.2.1.1.5 「静止状態において単独測位の位置精度が 128 m 以下であること」

この要求に対して、静止状態において単独測位の位置精度が 128 m 以下であることを検証項目として設定した。GNSS 受信機の仕様[65]より、静止受信における測位精度は 5 m 以下であることから、検証項目を満足することを確認した。

(6) 1.2.1.1.6 「信号補足時間が 90 秒以下であること」

この要求に対して、信号補足時間が 90 秒以下であることを検証項目として設定した。GNSS 受信機の仕様[65]より、コールドスタート時の信号補足時間が 34 秒以下であることから検証項目を満足することを確認した。

(7) 1.2.1.1.7 「防災メッセージ受信状態において 30 分以上受信状態を保つこと」

この要求に対して、L1-SAIF 信号を連続的に 30 分受信することを検証項目として設定した。固定点において、30 分間の L1-SAIF 信号を連続的に受信した。図 3-36 に示す L1-SAIF 信号の C/No 時間変化から、30 分間連続的に受信しており検証項目を満足することを確認した。

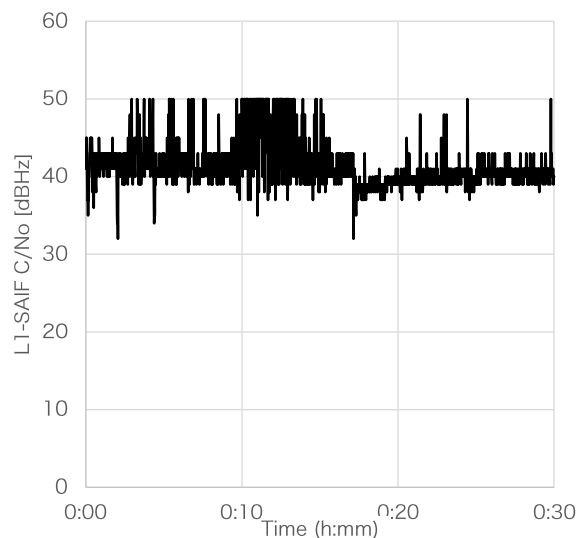


図 3-36 L1-SAIF 信号の C/No の時間変化

(8) 1.2.1.1.9 「ノミナルにおける信号損失率が 50 % 以下であること」

この要求に対して、固定点における信号損失率が 50 % 以下であることを検証項目として設定した。固定点において天空が開放された状況において 30 分間防災メッセージを配信し、信号損失率の計測を実施した。実験結果より、信号損失率は 7.11 % であり、ノミナルにおいて信号損失率が 50 % 以下であり、検証項目を満足することを確認した。

防災情報提供部について、各要求について検証を実施した。

(1) 1.2.1.3.1 「防災メッセージの受信状況を通知すること」

この要求に対して、防災メッセージの受信状況を端末のアイコンで表示することを検証項目として設定した。図 3-37 に示す通り、プロトタイプを使用し、オープンスカイ時の防災メッセージ配信時にアイコンが点灯すること及び防災を受信できない状況（屋内）においてアイコンが消灯することを確認し、検証項目を満足することを確認した。

(2) 1.2.1.3.2 「新しい防災情報取得時に通知すること」

この要求に対して、新しい防災情報取得時に通知バー及び音声により通知することを検証項目として設定した。図 3-38 に示す通り、プロトタイプを使用し、防災メッセージを準天頂衛星より配信し、新しい防災情報取得時に通知バー及び音声により通知することを確認し、検証項目を満足することを確認した。

(3) 1.2.1.3.3 「防災情報を表示すること」

この要求に対して、スマートフォンの画面上に防災情報を表示することを検証項目として設定した。図 3-38 に示す通り、取得した防災情報の履歴を防災通知ログ画面により確認し、検証項目を満足することを確認した。

(4) 1.2.1.3.4 「防災情報の履歴を表示すること」

この要求に対して、スマートフォンの画面上に取得した防災情報の履歴を表示することを検証項目として設定した。図 3-38 に示す通り、取得した防災情報の履歴を防災通知ログ画面により確認し、検証項目を満足することを確認した。



図 3-37 防災メッセージ受信状況表示結果



図 3-38 新しい防災情報通知結果及び防災情報履歴結果

避難方向提供部に対する各要求について検証を行った。以下に詳細を述べる。

(1) 1.2.2.3 「ユーザーの位置，高さを表示すること」

この要求に対して，避難方向表示画面において取得したユーザーの位置，高さを表示することを検証項目として設定した。図 3-39 より，ユーザーの位置及び高さを表示することを確認し，検証項目を満足することを確認した。

(2) 1.2.2.5 「オフラインで避難支援情報を提供すること」

避難方向提供部における避難支援情報は，避難所情報となる。そこで，この要求に対して，避難方向表示画面において避難所情報を提供することを検証項目として設定した。図 3-39 より，オフラインで避難所情報を提供することを確認し，検証項目を満足することを確認した。

(3) 1.2.2.6 「避難所の方向を算出すること」

この要求に対して，避難所の方向を算出し避難方向表示画面において避難所の方向を表示することを検証項目として設定した。図 3-39 より，避難所の方向を表示しており，避難所方向と矢印が一致していることを確認し，検証項目を満足することを確認した。

(4) 1.2.2.7 「避難所の距離を算出すること」

この要求に対して，避難方向表示画面上で表示した距離に対して，ユーザー位置及び避難所位置から算出した距離との比較により，避難所の距離を算出することを検証項目として設定した。避難所情報として設定したインターコンチネンタルホテルの座標は N 35.457898 ， E 139.637089 であり，図 3-39 に示されるユーザー位置情報は N 35.457917， E 139.632314 であるため，距離を算出すると，433.41 m となり，表示されている 432 m と概ね一致していることを確認し，検証項目を満足することを確認した。

(5) 1.2.2.8 「避難所の方向を表示すること」

この要求に対して，避難方向表示画面において避難所の方向を表示することを検証項目

として設定した。図 3-39 より、避難所の方向を表示していることが確認できることから、検証項目を満足することを確認した。

(6) 1.2.2.9 「避難所の距離を表示すること」

この要求に対して、避難方向表示画面において避難所の距離を表示することを検証項目として設定した。図 3-39 より、避難所までの距離を表示していることが確認できることから、検証項目を満足することを確認した。

(7) 1.2.2.11 「避難所をユーザーが選択すること」

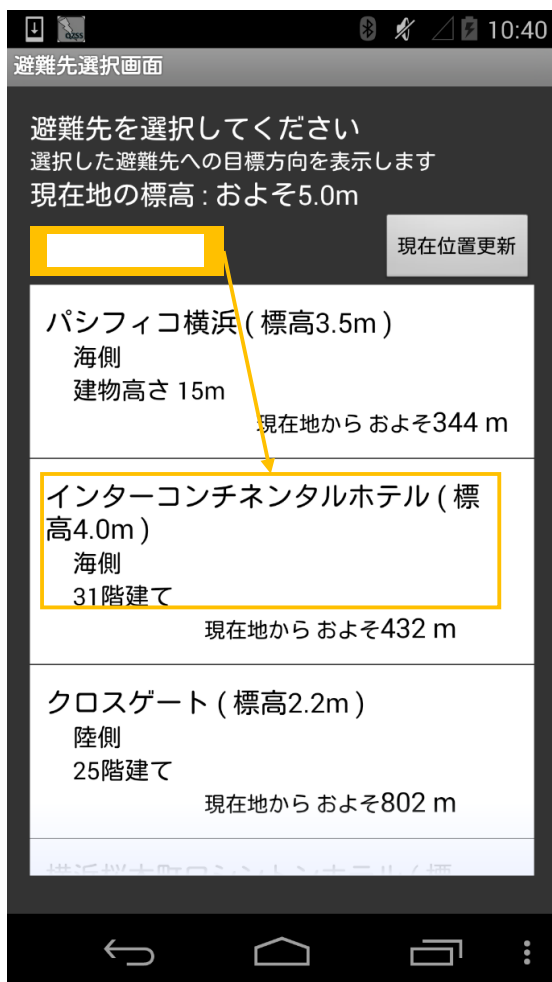
この要求に対して、避難所選択画面において避難所を表示し、ユーザーが選択できることを検証項目として設定した。図 3-39 より、避難所選択画面で選択した避難所に対して、避難所方向表示画面上で避難所距離方向を表示の対象となっていることを確認したことから、検証項目を満足することを確認した。

(8) 1.2.2.12 「避難所リストを表示すること」

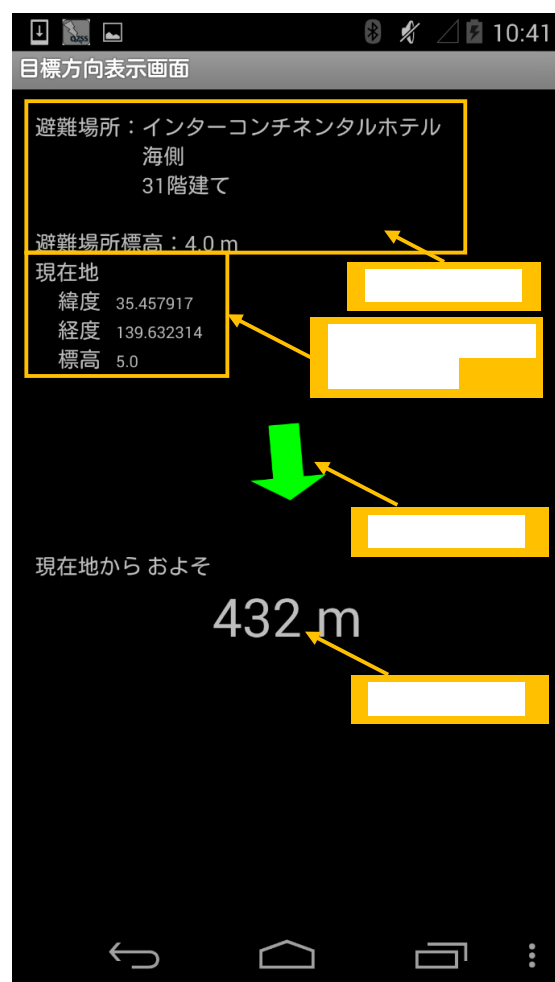
この要求に対して、避難所選択画面において登録された避難所を表示することを検証項目として設定した。図 3-39 より、登録した避難所について表示していることを確認したことから、検証項目を満足することを確認した。

(9) 1.2.2.13 「避難所情報を表示すること」

この要求に対して、避難所表示画面及び避難方向表示画面において登録された避難所情報を表示することを検証項目として設定した。図 3-39 より、登録した避難所情報について表示することを確認したことから、検証項目を満足することを確認した。



避難先選択画面



避難方向表示画面

図 3-39 避難方向提供部の検証結果

避難地図提供部について、各要求項目について検証を行った。本研究のプロトタイプでは、周辺地図表示については、Google Map をオンラインで使用した。

(1) 1.2.2.2 「周辺地図を表示すること」

この要求に対して、避難地図提供部においてユーザーの周辺地図を表示することを検証項目として設定した。図 3-40 より、周辺地図について表示することを確認したことから、検証項目を満足することを確認した。

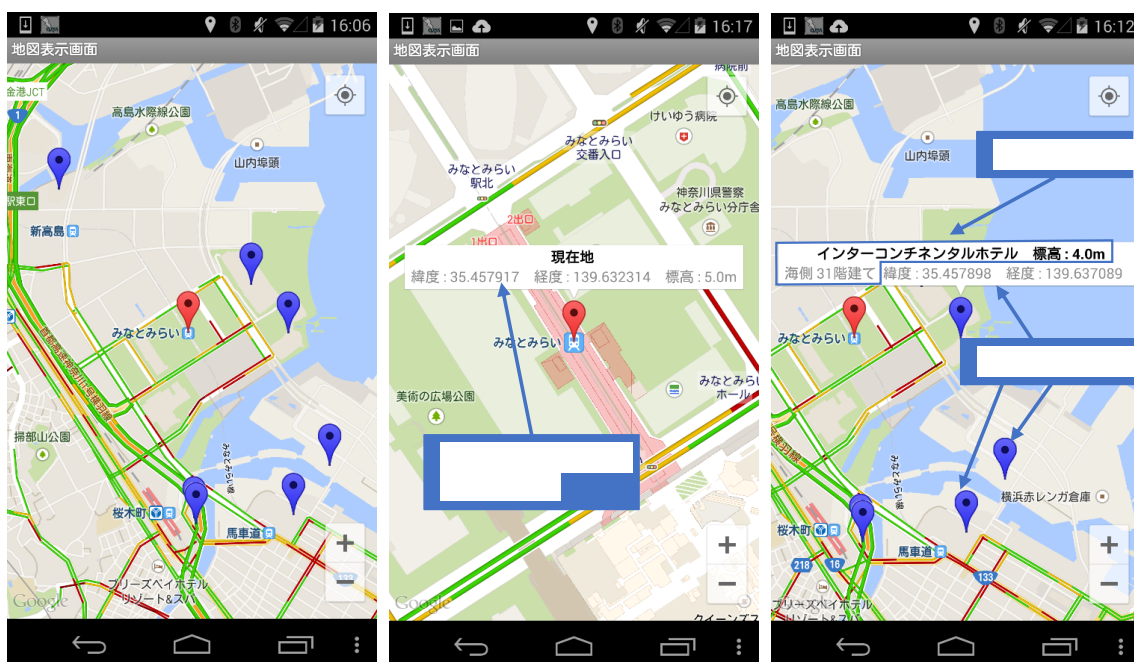


図 3-40 避難地図提供部の検証結果

(2) 1.2.2.3 「ユーザーの位置，高さを表示すること」

この要求に対して，避難地図提供部においてユーザーの位置，高さを表示することを検証項目として設定した。図 3-40 より，ユーザーの位置，高さを表示することを確認したことから，検証項目を満足することを確認した。

(3) 1.2.2.4 「避難所の位置を表示すること」

この要求に対して，避難地図提供部において避難所の位置を表示することを検証項目として設定した。図 3-40 より，避難所の位置を表示することを確認したことから，検証項目を満足することを確認した。

津波浸水予測図提供部について各要求について行った検証について，以下に述べる。

(1) 1.2.2.14 「津波浸水予測図を表示すること」

この要求に対して，津波浸水予測図提供部において津波浸水予測図を表示することを検証項目として設定した。図 3-41 より，予測された津波浸水深を表示することを確認したことから，検証項目を満足することを確認した。

(2) 1.2.2.3 「ユーザーの位置，高さを表示すること」

この要求に対して，津波浸水予測図提供部においてユーザーの位置，高さを表示することを検証項目として設定した．図 3-41 より，ユーザーの位置，高さを表示することを確認したことから，検証項目を満足することを確認した．

(3) 1.2.2.4 「避難所の位置を表示すること」

この要求に対して，津波浸水予測図提供部において避難所の位置を表示することを検証項目として設定した．図 3-41 より，避難所の位置を表示することを確認したことから，検証項目を満足することを確認した．



図 3-41 津波浸水予測図提供部の検証結果

3.4.2 サブシステムの検証

3.4.1 で検証した各コンポーネントをインテグレーションしたサブシステムについて、プロトタイプを使用した検証を実施し、表 3-27 に示す通りシステム要求を満足することを確認した。なお、プロトタイプについては図 3-27 で示した通り、本研究の未実装部分については除外した。

表 3-27 サブシステムの検証結果一覧

ID	Name	要求	検証結果
0	全体システム	1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を提供すること	○（一部未実装部を除く）
1.1	送信部	1.1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換し、迅速に送信すること	○（一部未実装部を除く）
1.2	受信部	1.2 携帯している端末でユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得し、ユーザーに防災情報及び避難支援情報を提供すること	○（一部未実装部を除く）
1.2.1	防災情報取得提供サブシステム	1.2.1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得し、ユーザーに防災情報を提供すること	○（一部未実装部を除く）
1.2.2	避難支援情報提供サブシステム	1.2.2 情報空白期において避難支援情報を提供すること	○（一部未実装部を除く）
		1.2.2.16 オフラインデータの所持容量により提供するコンテンツを変更可能なこと	○（一部未実装部を除く）

3.4.2.1 避難支援情報提供サブシステムの検証

避難支援情報提供サブシステムについては、避難方向提供部、避難地図提供部、津波浸水予測図提供部をインテグレーションし、以下の項目について検証した。

(1) 1.2.2.1 「オフラインデータの所持容量により提供するコンテンツを変更可能なこと」

本研究のプロトタイプでは、避難地図提供部及び津波浸水予測図提供部についてオンラインマップを使用しているが、ユーザーの持つオフラインデータによりユーザー自身が使用するコンテンツを選択できる方法を構築している。そこで、検証項目を「各コンテンツをユーザー自身が選択し利用可能なこと」と設定した。図 3-42 よりメニュー画面から選択することで各コンテンツが使用可能なことを確認し、検証項目を満足することを確認した。



図 3-42 避難支援情報提供サブシステムのメニュー画面

(2) 1.2.2 「情報空白期において避難支援情報を提供すること」

本研究のプロトタイプでは避難地図提供部及び津波浸水予測図提供部についてオンラインマップを使用したため、検証項目を「避難支援情報を提供すること」と設定した。図 3-39、図 3-40 及び図 3-41 より、各コンテンツを使用することで避難支援情報として、ユーザーの現在位置、高さ、避難所の位置、避難所情報、周辺地図、危険地域を表示することを確認し、検証項目を満足することを確認した。

3.4.2.2 防災情報取得提供サブシステムの検証

防災メッセージ・位置情報取得部、防災情報取得部及び防災情報提供部をインテグレーションした防災情報取得提供サブシステムについて、以下の項目について検証した。

(1) 1.2.1 「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得し、ユーザーに防災情報を提供すること」

本研究のプロトタイプでは、防災情報取得部は一部を実装しており、コンポーネントの検証では、防災メッセージ内に情報を埋め込み防災情報として復号することを確認した。また、エリア指定については、ユーザーのエリアの ID を予め設定しておき、メッセージに ID を振ることによって位置情報を使用しない簡易的なエリアフィルタリングを行うことを確認した。ユーザー評価を行うプロトタイプシステムでは、防災情報取得提供サブシステムについて、ID を防災メッセージとして変換し、ユーザーのエリア ID からフィルタリングするとともに、情報を提供する方法をプロトタイプとして採用し、インテグレーションを実施した。また、実用時には、防災メッセージ・位置情報取得部は端末内部に GNSS チップを搭載することを想定しているが、本プロトタイプでは、端末を GNSS 受信機とスマートフォンの2つで構成し、GNSS 受信機で取得した情報を Bluetooth でスマートフォンに転送した。以上から、検証項目を「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得し、ユーザーに防災情報を提供すること」と設定した。

そこで、ダミー情報、対象エリア及び対象エリア外の防災メッセージを準天頂衛星より配信し、プロトタイプシステムにより受信実験を実施した。表 3-28 から、配信した情報のうち対象エリアの 1 回目の情報のみ端末画面へ表示されることが確認でき、検証項目を満足することを確認した。

表 3-28 配信した情報に対する端末画面上への表示結果

番号	配信した情報の内容	受信	端末画面への表示
1	ダミー	○	×
2	ダミー	○	×
3	ダミー	○	×
4	ダミー	○	×
5	ダミー	○	×
6	震度速報 対象エリア	○	○
7	震度速報 対象エリア外	○	×
8	震度速報 対象エリア外	○	×
9	震度速報 対象エリア外	○	×
10	震度速報 対象エリア外	○	×
11	震度速報 対象エリア	○	×
12	震度速報 対象エリア外	○	×
13	震度速報 対象エリア外	○	×
14	震度速報 対象エリア外	○	×
15	震度速報 対象エリア外	○	×
⋮	⋮	⋮	⋮

3.4.2.3 受信部の検証

避難情報取得提供部及び避難支援情報提供サブシステムをインテグレーションし受信部とし、以下の項目について検証した。

(1) 1.2「携帯している端末でユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得し、ユーザーに防災情報及び避難支援情報を提供すること」

前述した通り、本研究のプロトタイプでは防災情報取得提供サブシステムについて、IDを防災メッセージとして変換し、ユーザーのエリア ID からフィルタリングするとともに情報を提供する方法をプロトタイプとして採用しており、受信部についてもこれを踏襲している。そこで、検証項目として、「携帯している端末でユーザーのいるエリアに応じた防

災情報を取得し、ユーザーに防災情報及び避難支援情報を提供すること」とした。

そこで、ダミー情報、対象エリア及び対象エリア外の防災メッセージを準天頂衛星より配信し、プロトタイプシステムにより受信実験を実施した。配信した情報のうち対象エリアの 1 回目の情報のみ端末画面へ表示されることが確認でき、また、その情報をトリガとして避難方向提供部、避難地図提供部、津波浸水予測図提供部の各コンテンツに移動し、避難支援情報として、ユーザーの現在位置、高さ、避難所の位置、避難所情報、周辺地図、危険地域を表示することを確認し、評価項目を満足することを確認した。

3.4.2.4 送信部の検証

送信部については、以下の項目について検証した。

(1) 「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換し、迅速に送信すること」

最低限有効な防災情報が迅速に送信されることとして、本研究では情報の優先度の高い津波警報など避難の判断に極めて重要な情報については、早く確実に届け、それ以外の情報については、情報の発表から配信までの情報の遅れ時間は許容するが、情報はユーザーに最低限到達する。具体的には、津波警報・注意報の防災メッセージは、必要な時間内である 1 分 50 秒以内に送信され、かつ再配信されること、また、防災情報が最新情報発表後に 5 回以上配信されること（ただし、上書きされた場合を除く）とする。そこで、検証項目として、東日本大震災時に気象庁から発表された防災情報を使用し、本システムのメッセージフォーマットを適用した配信スケジュールを作成した際の配信回数及び配信遅れ時間を計算し、最低限有効な防災情報が迅速に送信されることを確認する。

検討方法については、3.2.2.3.3 の東日本大震災の事例による検討の実施と同様に、マスターコントロール局において、航法メッセージと防災メッセージを組み合わせることとし、防災メッセージの配信間隔を考慮し、気象庁から防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムまでの情報伝達時間は 0 秒と仮定した。本検討で設定する条件を表 3-14 とし、配信エリアについては大船渡地域としこのエリアに対して配信する防災情報を計算することとした。また、大船渡地域では、津波の到来時刻が地震発生から 30 分後[62]であったことから、防災情報については、15 時 18 分 00 秒までに配信した情報について解析を

実施する。また、防災メッセージの配信間隔には、2秒に1メッセージとした。

表 3-29 に該当エリアである大船渡に対して配信した防災情報の配信回数について、防災情報ごとに示す。表 3-30 は、防災情報の遅れ時間を示している。本システムでは、発表された情報を繰り返し配信しているため、発表された情報から最初に送信した情報との時間差を遅れ時間として計測した。また、震度速報については、気象庁から更新された情報が多いため、平均値と最大値で示した。

表 3-29 送信部の検証結果（防災情報の配信回数）

防災情報	発表回数	1メッセージ / 2s
震度速報	34	81
震源・震度に関する情報のうち震源に関する情報	6	15
津波警報（大津波）#1 [14:50:00]	1	152
津波警報（大津波）#2 [15:14:11]	1	7
津波情報（警報） #1 [14:50:26]	1	5
津波情報（警報） #2 [15:14:39]	1	5
合計	44	265

表 3-30 送信部の検証結果（防災情報の遅れ時間）

防災情報	1メッセージ / 2s
震度速報（平均）	4
震度速報（最大）	89
津波警報（大津波）#1	0
津波警報（大津波）#2	1
津波情報（警報）#1	4
津波情報（警報）#2	3

結果から、津波警報・注意報については、1分50秒以内に送信されていることを確認し、また、1回目の津波警報（大津波）では、次の津波警報が発表されるまでの24分間において、147（152-5）回の再配信が行われていることが確認できた。なお、2回目の津波警報（大津波）では、計算時間を30分と規定していたため、約4分間しか時間が残されていなかったため、再配信回数は2回であった。また、各防災情報についても、5回以上送信されており、繰り返し数を満足することを確認できることから、評価項目を満足することを確認できた。

3.4.3 全体システムの検証

送信部及び受信部をインテグレーションした全体システムに対しての以下の項目について検証を行う。

「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を提供すること」

特に、送信部については、最低限有効な防災情報を提供するために、配信スケジュールの設計を実施したが、送信部の検証だけでは実際に配信した防災メッセージが避難行動中のユーザーに対してどのように伝達したかを評価することはできない。そこで、上記の要求を検証する上で、防災情報のみを伝達及び提供する場合の検証を行う必要がある。そこで、先ず送信部及び防災情報取得提供サブシステムをインテグレーションし、「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達及び提供すること」について、防災メッセージを使用した避難実験により検証を行った後、避難支援情報提供サブシステムを含めた全体システムに対して、「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を提供すること」について、本システムを使用した避難実験により検証を行う。

3.4.3.1 防災メッセージを使用した避難実験による検証

送信部及び防災情報取得提供サブシステムをインテグレーションしたシステムに対し

て、「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達及び提供すること」の要求項目について検証を実施する。前述した通り、送信部で配信スケジュールに基づいて配信した防災情報の伝達について評価する必要があるため、上記の要求及び送信部における要求項目から、「ユーザーのエリアに応じた津波警報・注意報がユーザーに伝達すること」を検証項目として設定する。そこで、検証項目について確認するため、準天頂衛星から防災メッセージを配信し、プロトタイプを使用したユーザーへ防災情報を伝達することで、検証項目について評価を行う。

使用する本研究のプロトタイプでは、防災情報取得提供サブシステムについて、ID を防災メッセージとして変換し、ユーザーのエリア ID からフィルタリングするとともに情報を提供する方法をプロトタイプとして採用している。このため、プロトタイプでは配信する防災メッセージのスケジュールを 3.2.2.3 で設計したメッセージフォーマットを使用して防災情報を配信するための配信スケジュールに沿って配信するが、実際に配信する防災メッセージ自体は、ID を設定した簡易的なメッセージフォーマットを使用する。これにより、ユーザーに対しては、ユーザーのエリアに配信する情報のみが提供できるようにした。なお、配信する防災メッセージは、発表時間に応じた防災情報を予め配信スケジュールに基づいて配信時刻に応じた防災メッセージリストを作成し、その時刻において準天頂衛星から防災メッセージの配信を行うこととした。なお、今回の実験では防災メッセージ・位置情報取得部として、GNSS 受信機 (SPAC 製 QZPOD) を使用し、携帯端末としてスマートフォン (SONY 製 xperia, Android 4.3) を使用した。

実験では前述した通り予めスケジュールリングした防災メッセージを作成し、実験コントロール局から航法メッセージに対する配信間隔を設定し、実験局から準天頂衛星に送信した。準天頂衛星において L1-SAIF 信号を生成し、ユーザーに対して配信した。

実験は 2013 年 12 月 6 日に横浜市みなとみらい地区の図 3-43 に示すエリアで実施した。時間帯は、準天頂衛星がほぼ天頂にいる 12 時 30 分から 15 時 30 分とし、① 12 時 30 分から 12 時 50 分、② 14 時 00 分から 14 時 20 分、③ 15 時 10 分から 15 時 30 分の計 3 回実施した。被験者は 7 名とし、1 回の実験において最大 3 名ずつ図 3-43 に示す初期位置より計 3 回実験を行った。なお、1 回の実験における被験者の避難行動時間は 20 分に設定し同じ時間帯に実施する被験者はそれぞれ単独に避難行動をとるものとし

た。被験者に提供する防災情報は、地震の発生後、津波が来る想定シナリオを東日本大震災のケースを参考に作成し、表 3-32 に示す形で配信した。なお、防災情報については気象庁より発表された時間に伴い更新情報として提供している。この表 3-32 に示す防災情報を元に、メッセージフォーマット及び配信スケジュールによって、準天頂衛星の L1-SAIF 信号を使用し防災メッセージの提供を行った。なお、防災メッセージについては、L1-SAIF 信号の 2 秒に 1 メッセージを防災メッセージの情報に割り当てた。



図 3-43 実験エリア

表 3-31 実験条件

実施日時	2013 年 12 月 6 日 12 時 30 分から 15 時 30 分
実験エリア	横浜みなとみらいエリア
QZSS 仰角	83.9 ~ 88.5 degrees
被験者数	7 人
実験時間	20 分間 (① 12 時 30 分から 12 時 50 分, ②14 時 00 分 から 14 時 20 分, ③ 15 時 10 分から 15 時 30 分)
防災メッセージ配信間隔	1 メッセージ / 2 秒

表 3-32 防災情報の発表履歴

経過時間 (分秒)	防災情報の内容	備考
0 : 00	緊急地震速報	SMS
01 : 30	震度速報	震度 6 強
03 : 00	津波警報 #1	津波注意報
03 : 25	津波情報 #1	到達予想時刻：実験開始から 20 分後 予想される津波高さ：0.5 m
10 : 00	津波警報 #2	大津波警報
10 : 25	津波情報 #2	到達予想時刻：実験開始から 15 分後 予想される津波高さ：4 m
20 : 00	終了	

本システムは、情報空白期について特に焦点を当てているため、前提条件として、地震発生後、地上の情報インフラが使用できないこととした。また、準天頂衛星から情報を配信するシステムであるため、屋内や高架橋の下など、天頂が遮蔽された空間においては、信号が受信できないことを被験者に理解した上で実験を行っている。

被験者は、図 3-43 に示す位置を初期位置として、ショートメッセージによる緊急地震速報の受信を実験開始の合図とした。緊急地震速報受信後、被験者は個々の判断に基づいて避難行動を開始する。防災メッセージについては、配信スケジュールに基づき準天頂衛

星から配信し、被験者は避難行動中にその情報を取得し、避難行動の判断に使用する。被験者が避難完了を判断した際、もしくは実験開始から 20 分を経過した際には実験終了とした。

表 3-33 に被験者が受信した津波警報・注意報の情報の受信回数を示す。また図 3-44 には、本システムを使用し避難行動を取った被験者 D が受信した防災メッセージの受信状況と L1-SAIF 信号の C/No 値を示す。防災メッセージの受信状況については、1 が受信状態、0 が受信できなかった状態を示している。図 3-45 には、被験者 D の避難時の GNSS 受信機で取得した軌跡及び防災メッセージの受信状況を示す。軌跡のプロットの内、黒色のプロットは、防災メッセージの受信を示し、白色のプロットは、防災メッセージが受信できなかったことを示している。また、赤色のラインについては、被験者 D が実際に移動した軌跡を示した。また、表 3-34 には、本システムにおける防災メッセージのバースト欠落の最大時間を示す。なお、被験者 F については、1 回の欠落は生じていたものの、2 回以上連続して欠落した状況が生じていないことから、バースト欠落が生じなかったため、バースト欠落の最大時間を「-」とした。

この結果から、避難時の防災メッセージの受信においては、バースト欠落が発生しているものの、表 3-33 より各被験者とも、津波注意報、大津波警報ともに 1 回以上の受信していることが確認でき、評価項目を満足することが確認できた。

なお、バースト欠落については、被験者の避難行動によることが大きく、図 3-45 に示すように、ガード下や建物の近くなどを避難した際に起きる事が確認できる。今回の実験では、表 3-34 から、最大 3 分 45 秒のバースト欠落が起きていることがわかった。3.2.2.3.3 で検討した東日本大震災における津波警報の再配信時間は最大 7 分 7 秒であり、今回の実験結果から、バースト欠落が発生した状況においても津波警報は最低限受信可能である。

図 3-46 には、本システムにおける避難行動中の防災メッセージの受信損失率と防災情報の受信損失率を示す。防災メッセージの受信損失率は、配信されている全ての防災メッセージのうち、受信できなかった防災メッセージの割合を示している。防災情報の受信損失率については、防災メッセージのうち、被験者のエリア向けに配信されている情報のうち、受信できなかった防災情報の割合を示している。この結果から、防災メッセージの受信損失はバースト欠落を入れた場合において最大 27 %、ランダム欠落のみ発生していた被験

者 F については、10 % 以下であることが確認できている。設計時において、防災メッセージの受信損失 50 % 時に受信確率 95 % を満足するために、繰り返し数 5 回を設定していたため、得られた受信損失が 50 % 以下であり、到達性が満足する結果を得られた。

なお、表 3-33 において、被験者 F については、大津波警報の受信回数が他の被験者より著しく低い。これは、被験者 F が 15 時 22 分 40 秒には避難を終了しており、また、津波警報（大津波）が 15 時 19 分 40 秒より配信を開始し、再配信を 15 時 21 分 54 秒から配信したため、避難終了までに津波警報（大津波）の再配信情報を受信できる時間が短くなり、受信回数が他の被験者より著しく低くなった。

表 3-33 津波警報・注意報の受信回数

防災情報	発表回数	受信回数						
		A	B	C	D	E	F	G
津波注意報	1	32	27	32	31	32	32	32
大津波警報	1	65	72	31	46	38	12	73

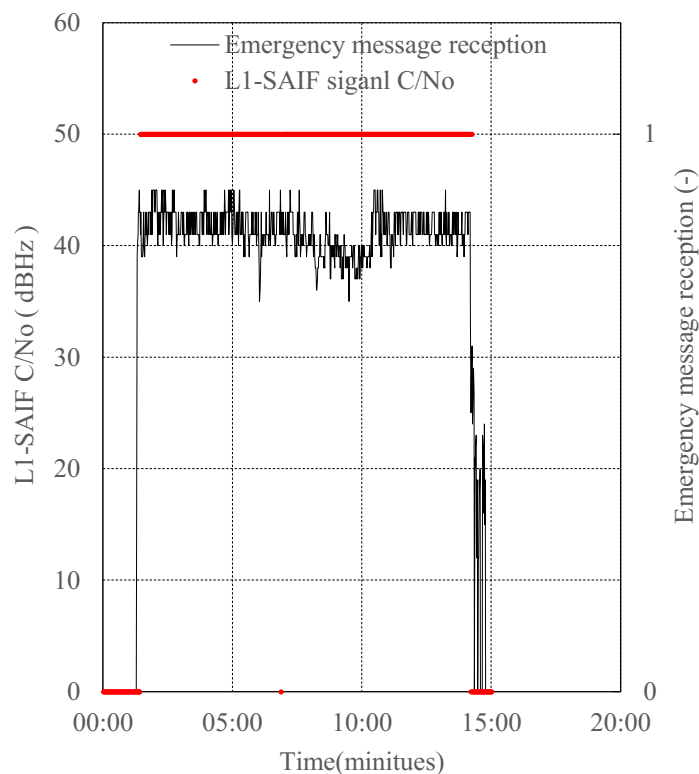
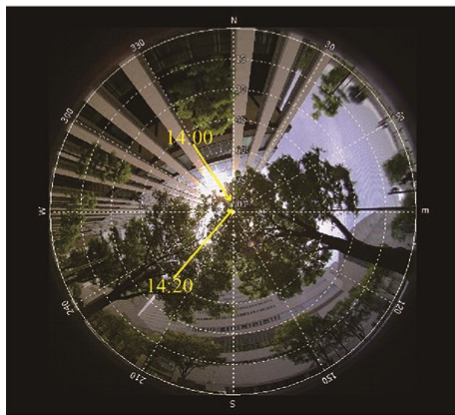
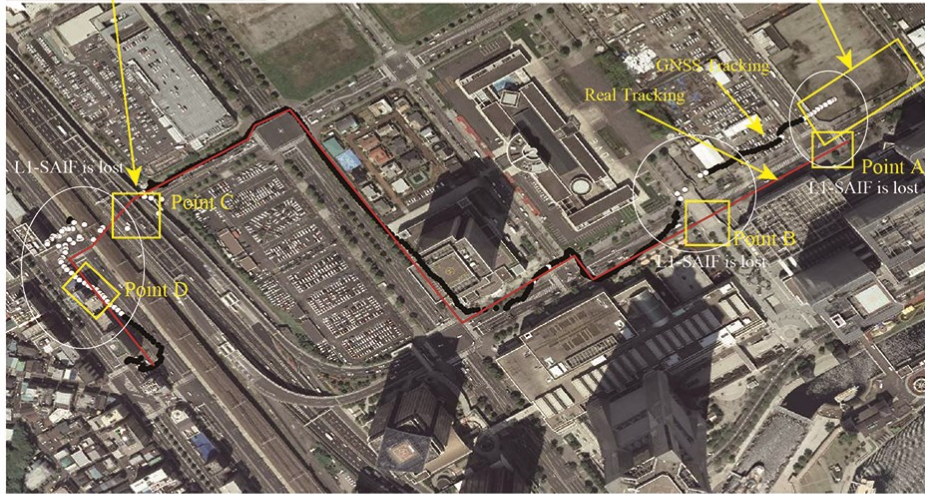
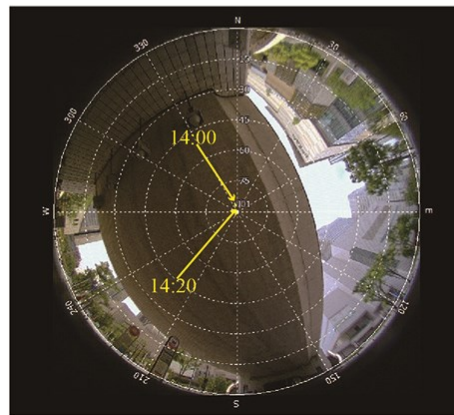


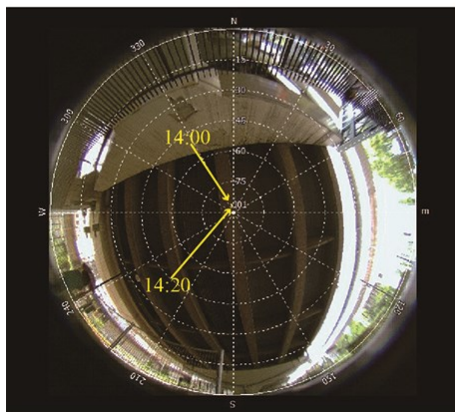
図 3-44 防災メッセージの受信状況及び L1-SAIF 信号の C/N₀ (被験者：D)



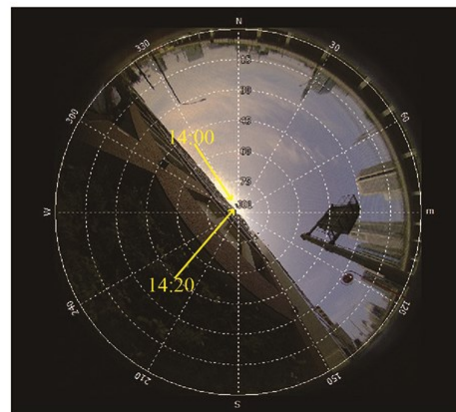
Point A



Point B



Point C



Point D

図 3-45 移動履歴及び防災メッセージ受信状況（被験者：D）

（国土地理院空中写真を使用[63]）

表 3-34 バースト欠落の最大時間

被験者	バースト欠落の最大時間
A	1 分 21 秒
B	3 分 45 秒
C	1 分 25 秒
D	2 分 55 秒
E	2 分 17 秒
F	-
G	1 分 39 秒

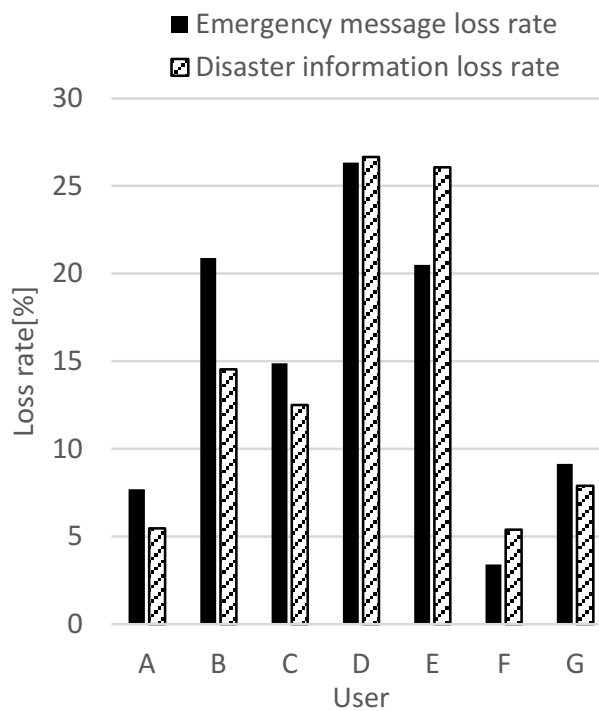


図 3-46 防災メッセージ及び防災情報の受信損失率

3.4.3.2 避難実証実験による検証

送信部及び受信部をインテグレーションした全体システムに対して「情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を提供すること」の要求項目について検証を実施した。

上記の要求項目から、「ユーザーのエリアに応じた津波警報・注意報がユーザーに伝達すること及び避難支援情報をユーザーに提供すること」を検証項目として設定する。そこで、検証項目について確認するため、準天頂衛星から防災メッセージを配信し、プロトタイプを使用したユーザーへ防災情報を伝達することで、検証項目について評価を行う。なお、3.4.3.1と同様に使用するプロトタイプは、防災情報取得提供サブシステムについて、IDを防災メッセージとして変換し、ユーザーのエリアIDからフィルタリングするとともに情報を提供し、防災メッセージについては簡易的なメッセージフォーマットを使用し、配信スケジュールについては、設計したメッセージフォーマットを使用した配信スケジュールに基づいて、予め作成した防災メッセージリストを使用して配信した。お、今回の実験では防災メッセージ・位置情報取得部として、GNSS受信機（SPAC製 QZPOD）を使用し、携帯端末としてスマートフォン（SONY製 xperia, Android 4.3）を使用した。

実験は地震津波災害の発生を想定し、被験者はプロトタイプシステムを使用して各自の判断で避難行動をとる。1回の実験は被験者を最大3名で行い、それぞれがお互いの状況に影響されないよう、図3-47に示す位置を初期位置として開始した。被験者には、SMSを使用した緊急地震速報を送信し、これを実験開始の合図とした。緊急地震速報受信後、準天頂衛星より表3-32の形で防災情報が提供され、被験者はその情報を受信し、避難支援情報提供サブシステムを使用しながら各々の判断で避難行動をとる。なお、実験の終了については、被験者が安全と判断して避難行動を終了した場合及び実験開始から20分を経過した場合とした。

表3-36に実験条件を示す。実験は、2013年12月16日の準天頂衛星が天頂付近に位置する時間帯に横浜市みなとみらい地区の図3-47に示すエリアにおいて、8名の被験者を対象に実施した。被験者には表3-32に示す防災情報に基づいた配信スケジュールに従って防災メッセージを配信した。なお、防災メッセージについては、L1-SAIF信号の2秒に1回を防災メッセージの情報に割り当てた。

表3-37に被験者ごとの端末表示状況を示す。端末表示状況は、端末が防災メッセージを受信後、被験者がいるエリアの防災メッセージを防災情報として復号化し、端末への表示の有無を示している。なお、防災メッセージは冗長化のため端末は同一の防災メッセージを複数回受信しているが、端末は初回のみ表示され端末内部に表示ログとして記録され

る。端末表示状況は、1 回以上表示及び確認できた情報を「○」、1 回も表示及び確認できなかった情報を「×」とした。なお、被験者の避難が完了した後の情報については「-」で示した。結果から、ユーザーのエリアに応じた津波警報・注意報がユーザーに伝達することを確認した。

表 3-38 に情報確認後の避難支援情報提供サブシステム使用状況を示す。表は被験者が防災情報の確認後に使用した避難支援情報提供サブシステムについて操作ログの履歴から示したものである。使用した避難支援情報提供サブシステムは防災情報内について時系列順で示している。各被験者は、色の塗られた避難支援情報提供サブシステムに対応する防災情報確認後に避難を開始している。なお、被験者 B については、緊急地震速報確認後、避難を開始している。被験者 F は、操作ログの不具合により避難地図提供部及び津波浸水予測図提供部の使用状況の区別がつかなかったため、ヒアリングにより把握できているものを「*1」、区別できないものは「*2」と注記した。「方向」は避難方向提供部を、「地図」は避難地図提供部を、「浸水」は津波浸水予測図提供部を使用していることを示す。「ログ」は図 3-29 の防災通知ログ画面のみの確認、「詳」は防災通知ログ画面から図 3-30 のメニュー画面を通して防災情報詳細画面を確認したことを示している。また、「避」は避難方向提供部において避難所情報の確認及び避難所が記載している場合はその避難所を選択したことを示している。「×」については情報の確認をしていないものを、「-」については被験者の避難が完了したことを示している。なお、震度速報 (#5) については、直後に配信される震源に関する情報との配信間隔が短いため、ユーザーが操作している間に震源に関する情報が配信され、同時に通知されている可能性があるため「△」とした。被験者 H については、実験開始後 1 分 40 秒から 3 分 10 秒までの間端末が一時停止し、震度速報を受信できなかったため、「-」で示した。

結果から、ユーザーは避難支援情報提供サブシステムを使用し避難支援情報を取得していることを確認した。以上から、「ユーザーのエリアに応じた津波警報・注意報がユーザーに伝達すること及び避難支援情報をユーザーに提供すること」の検証項目を満足することを確認した。

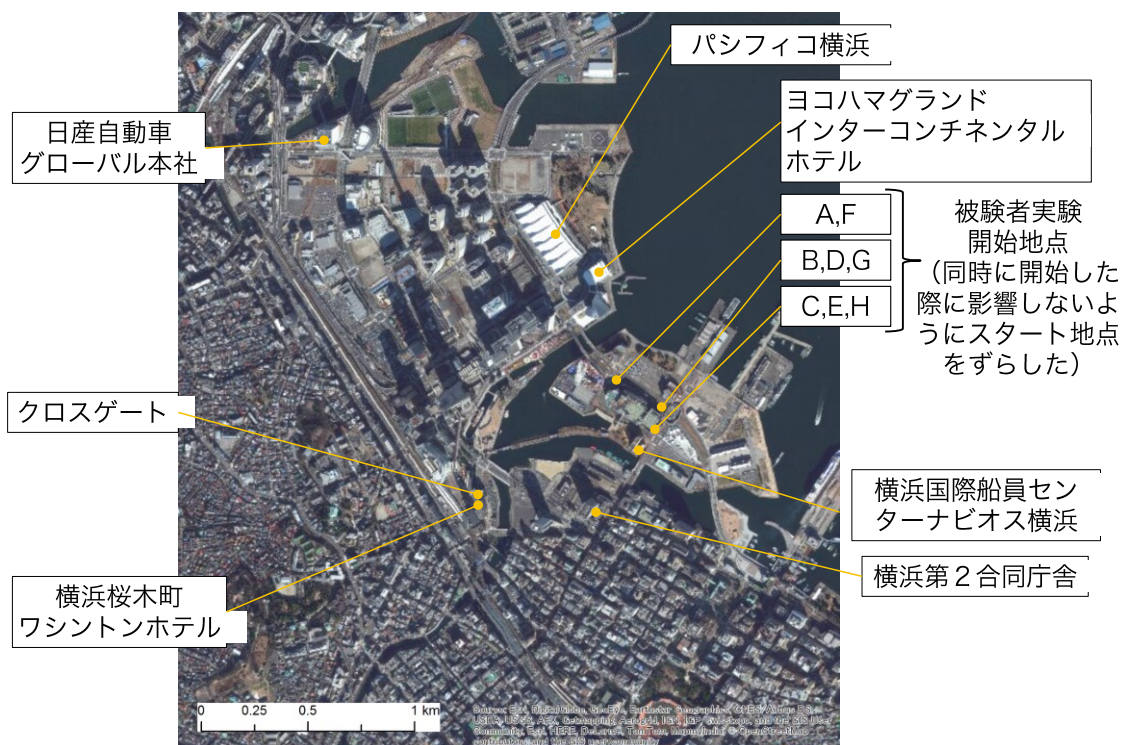


図 3-47 避難実証実験におけるエリア

表 3-35 実験時に防災機関から提供される防災情報

発表予定経過時間(分秒)	主要メッセージ内容	備考
0 : 00	緊急地震速報	SMS により配信
01 : 30	震度速報	震度 6 強
03 : 00	津波警報	
03 : 25	津波情報	到達予想時刻： 実験開始から 20 分後 予想される津波高さ：1.2 m
10 : 00	大津波警報	
10 : 25	津波情報 (更新)	到達予想時刻： 実験開始から 15 分後 予想される津波高さ：4 m
20 : 00	配信終了	

表 3-36 避難実証実験の実験条件

項目	内容
	2013 年 12 月 16 日
実施日時	① 12 時 50 分から 13 時 30 分 ② 14 時 10 分から 14 時 30 分 ③ 15 時 10 分から 15 時 30 分
実施場所	横浜市 みなとみらい地区
準天頂衛星仰角	79.6 ～ 88.5 degrees
被験者数	8 名
実験時間	20 分間
防災メッセージ配信間隔	1 メッセージ / 2 秒

表 3-37 津波警報及び大津波警報の受信状況

防災情報	A	B	C	D	E	F	G	H
津波警報	○	○	○	○	○	○	○	○
大津波警報	○	○	○	○	○	○	-	-

表 3-38 情報確認後のコンテンツ使用状況

防災情報の種類	A	B	C	D	E	F	G	H
震度速報 (#1)	ログ	地図	詳 避:ナ 方向 地図 避:庁	詳 避	地図 詳 避	詳 地図*1	地図 避:ナ 方向 地図	地図
震度速報 (#2)	ログ	地図	×	地図 避:庁 方向 地図	詳 避:日 方向 避 地図	詳 地図*1	詳 方向	—
津波警報	地図	浸水	詳 浸水 詳	詳 浸水	浸水	詳 浸水*1	浸水	浸水* 方向

防災情報の種類	A	B	C	D	E	F	G	H
津波情報 (#1)	地図	浸水 地図	×	詳 浸水 避:ナ 方向	詳 浸水 避	詳 浸水*1	詳 方向	詳 浸水 避:ナ 方向
震度速報 (#3)	地図	ログ	×	詳 浸水 地図	詳	詳 浸水*2 地図*2	×	×
震度速報 (#4)	地図	詳 浸水	詳 浸水 方向	詳細 地図 浸水	詳 方向 避:イ 方向	浸水*2 地図*2	—	×
震度速報 (#5)	△	△	ログ	詳	△	浸水*2 地図*2	—	×
震源に関する情報	地図	地図 浸水	詳 方向	浸水	詳 地図 方向 浸水	詳 浸水*2 地図*2	—	×
大津波警報	地図	浸水	詳	詳 地図 詳 浸水	地図 詳	浸水*2 地図*2	—	—
津波情報 (#2)	地図	浸水	—	詳細 浸水 地図	詳 地図 避 地図 詳 地図	詳 地図*1 詳 地図*1	—	—
震度速報 (#6)	—	浸水 地図 避 浸水	—	—	詳 浸水	—	—	—

*1 ヒアリングから把握 *2 地図もしくは浸水アプリを使用
 避難所 庁：横浜第 2 合同庁舎 ナ：横浜国際船員センターナビオス横浜 イ：ヨコハマ
 マグランドインターコンチネンタルホテル 日：日産自動車グローバル本社

3.4.4 避難実証実験による妥当性確認

3.4.4.1 避難実証実験による妥当性確認の概要

作成したプロトタイプにより最重要ステークホルダである利用者を対象とした避難実証実験を実施し、利用者の避難行動分析及びヒアリング結果から本システムの妥当性を確認する。なお、妥当性の確認項目は利用者の要求から表 3-39 の通りとした。

表 3-39 妥当性確認項目

番号	要求項目	確認方法
R1	情報を確実に伝達すること	ヒアリング及び行動分析
R2	情報を迅速に伝達すること	ヒアリング
R3	避難行動のきっかけとなる情報を伝達すること	ヒアリング及び行動分析
R4	信頼性の高い情報を伝達すること	ヒアリング
R5	被災者のいるエリアに対しての情報を提供すること	ヒアリング
R6	被災者が携帯している端末に対して情報を伝達すること	ヒアリング
R7	移動中の被災者に対しても情報を提供すること	ヒアリング及び行動分析
R8	危険地域を表示すること	ヒアリング及び行動分析
R9	被災者自身の状況を表示すること	ヒアリング及び行動分析

3.4.4.2 避難実証実験方法

実験は地震津波災害の発生を想定し、被験者はプロトタイプシステムを使用して各自の判断で避難行動をとる。1 回の実験は被験者最大 3 名で実施し、それぞれがお互いの状況に影響されない様に図 3-47 に示す位置を初期位置として開始した。被験者には、SMS を使用した緊急地震速報を送信し、これを実験開始の合図とした。緊急地震速報受信後、準天頂衛星より表 3-35 の形で防災情報を提供し、被験者はその情報を受信し避難支援情報提供サブシステムを使用しながら各々の判断で避難行動をとることとした。なお、実験の終了については、被験者が安全と判断して避難行動を終了した場合及び実験開始から 20 分を経過した場合とした。被験者に避難地図提供部及び津波浸水予測図提供部により提供した避難所位置は図 3-47 に示す通りである。この避難所については実験エリア内の横浜市が指定する津波避難施設より選定した[66]。

実験を行うに当たり、実験開始前に被験者に実験方法、シナリオの前提条件及びシステム、アプリケーション及びコンテンツの使用説明を行った。実験では準天頂衛星から防災情報が端末に配信され、端末に表示された情報をもとに被験者自身の判断で行動する旨を説明した。また、提供される防災情報の詳細及び情報の提供順については説明を行っていない。なお被験者自身が避難の終了を判断した場合については、同行している記録係に申告することとした。シナリオの前提条件は、地震が発生し情報インフラが使用できない状況である旨を説明した。システムの使用方法は、本システムが準天頂衛星から防災情報を提供するものであり、屋内や上空が遮蔽された空間においては、情報を受信できないことを説明した。なお、L1-SAIF 信号が受信できている状況については、スマートフォンの画面上の L1-SAIF アイコンが点灯し、一定時間受信できない状況については、このアイコンが消灯することにより、被験者自身で L1-SAIF 信号の受信状況を把握できる旨を説明した。避難支援情報提供サブシステムについては、操作方法の説明をした後、30 分程度自由に操作できる時間を設け操作の習得を図った。なお、この際にデモ用の防災メッセージを無線 LAN から端末に提供を行った。

表 3-36 に実験条件を示す。実験は、2013 年 12 月 16 日の準天頂衛星が天頂付近に位置する時間帯に横浜市みなとみらい地区の図 3-47 に示すエリアにおいて、8 名の被験者を対象に実施した。被験者は限定的な範囲での公募を実施し、本実験がスマートフォンを

情報の取得端末として利用していることから、携帯電話及びスマートフォンの普及率が高く、かつインターネットの利用端末として携帯電話及びスマートフォンの利用率の高い20-40代とした。また実験シナリオとして、みなとみらい地区への観光客を想定していることから、この地区に居住していない者を被験者として選定した。被験者には表 3-35 に示す防災情報を提供した。これは実験時に防災機関から発表される防災情報として東日本大震災のケースを参考に地震発生後、津波が発生する状況に基づいて作成した。実験では、この防災情報に基づき配信スケジュールに従って防災メッセージを配信する。表 3-40 には被験者に配信した防災メッセージの配信数及び 1 回目の防災メッセージを配信した時刻を示す。なお、表は被験者のいるエリアを対象としている防災メッセージと被験者のいるエリア外を対象としている防災メッセージごとに整理しており、大津波警報、津波警報、津波注意報については再配信数を併記した。なお配信時刻は実験開始からの経過時刻で示している。

表 3-40 避難実証実験時に被験者に配信した防災メッセージの配信数及び

1 回目の防災メッセージを配信した時刻

防災情報の種類	配信数 (再配信数)		配信時刻*1 (分秒)	
	エリア内*2	エリア外*3	エリア内*2	エリア外*3
震度速報	38 (0)	108 (0)	1:30	1:32
震源に関する情報	12 (0)		7:28	
大津波警報	0 (0)	33 (28)	-	3:00
津波警報	0 (0)	32 (27)	-	3:02
津波注意報	32 (27)	0 (0)	3:20	
津波情報 (大津波・津波警報)	0 (0)	10 (0)	-	3:30
津波情報 (津波注意報)	5 (0)	15 (0)	3:50	3:52
大津波警報 (更新)	73 (68)	0 (0)	10:00	
津波警報 (更新)	0 (0)	74 (69)	-	10:02
津波注意報 (更新)	0 (0)	73 (68)	-	10:20
津波情報 (大津波・津波警報)	5 (0)	15 (0)	10:30	10:32
津波情報 (津波注意報)	0 (0)	30 (0)	-	11:10

*1 1 回目の防災メッセージを配信した時刻 *2 被験者のいるエリア *3 被験者のいるエリア外

本実験では表 3-41 に示す計測項目について計測を実施した。また、本システムの有効性についてユーザー視点から評価を行うため、実験終了後に被験者に対してヒアリングを実施した。ヒアリングについては、時系列ごとに防災情報取得後の行動及びその理由並びに表 3-42 に示すシステムに対するヒアリングを実施した。

ヒアリング項目については、R1 「情報を確実に伝達すること」について「情報の受信性」としてヒアリングを実施した。R2 「情報を迅速に伝達すること」については、「情報の速報性」、R3 「避難行動のきっかけとなる情報を伝達すること」については「行動の誘発性」、R4 「信頼性の高い情報を伝達すること」については「情報の信頼性」、R5 「被災者のいるエリアに対しての情報を伝達すること」については「エリア配信性」として、それぞれヒアリングを実施した。R6 「被災者が携帯している端末に対して情報を伝達すること」、R7 「移動中の被災者に対しても情報を提供すること」、R8 「危険地域を表示すること」及び R9 「被災者地震の状況を表示すること」については、「避難支援情報提供サブシステム」としてヒアリングを実施した。

表 3-41 避難実証実験の計測項目

計測項目	計測方法
移動履歴	GNSS 受信機に位置情報を取得し、スマートフォンに記録
行動ログ	記録係が被験者に同行し記録 ウェアラブルカメラ (Panasonic 製 HX-A100) により端末画面及び周囲環境を撮影*1
端末操作ログ	スマートフォンに端末の操作ログを記録
防災メッセージ取得状況	GNSS 受信機より L1-SAIF 信号の C/No (キャリア/ノイズ比) 及び防災メッセージを取得し、スマートフォンに記録
防災情報表示状況	取得した防災メッセージを復号し画面上に表示した防災情報を記録

*1 被験者 F 及び G は撮影せず

表 3-42 ヒアリング項目

番号	ヒアリング項目	内容
1	本システムの総合的な印象について	大災害時の情報空白期（インターネットや携帯電話等が使用できない期間）において、災害ツールとして有効か
2		1 において特にそう感じた点 （複数回答）
3		津波避難以外にどのような活用法が考えられるか（土砂・火災等の他のハザード，救助・安否確認等の防災活動など）
4	情報の受信性	災害情報をいつでも受け取ることができたか
5		（システム仕様である屋外において）災害情報をどこでも受け取ることができたか
6		システムは災害情報を入手する手段として有効か
7		受信性についてのその他，意見
8	情報の速報性について	情報の受信時間と発表時間のタイムラグを感じたか
9		情報の受信時間と発表時間のタイムラグが問題となったか
10		システムの情報の速報性は妥当か
11		速報性についてのその他，意見
12	情報の信頼性について	システムから提供される情報に対する信頼性はあるか
13		信頼性についてのその他，意見
14	行動の誘発性について	システムによって，災害時の行動が誘発されたか
15	エリア配信について	受信した情報が自分のエリアの情報と認識できたか
16		自分のエリアの情報を受け取ることで，メリットがあったか
17		エリアごとに受信した情報によって適切な行動を行えたか
18		他のエリアの情報は必要か
19		情報のエリア配信（ユーザーの位置に応じた情報提供）は有効か
20		エリア配信についてのその他，意見
21	避難支援情報提供サブシステムについて	避難支援情報提供サブシステムは災害時の行動に有効か
22		災害時の行動（避難所選択，避難ルートなど）に対して影響があったか
23		自分の状況の把握を行えたか
24		災害情報詳細表示は有効か
25		避難方向提供部は有効か

番号	ヒアリング項目	内容
26		避難地図提供部は有効か
27		避難所表示は有効か
28		津波予測図表示は有効か
29		津波予測図表示の更新は有効か
30		避難支援情報提供サブシステムについてのその他の意見
31		移動中に情報の受信ができることは有効か
32		携帯端末で情報が受信できることは有効か
33		アプリケーション（防災情報提供部及び避難支援情報提供サブシステム）全体の操作性（通知の表示を含めて）はわかりやすいか
34		情報の表示方法で、改善が必要と感じた情報はあったか
35		システムが提供する情報がわかりやすいか

3.4.4.3 避難実証実験結果

表 3-43 に本実験に参加した被験者の情報を示す。全ての被験者は、衛星通信の工学知識はなく、居住地域は実験エリア外であった。なお、被験者の募集では平時から携帯電話を情報の収集手段として使用している 20 から 40 代の年代を選定しており、平時において全ての被験者が携帯電話を使用している。利用携帯端末の種類としては、フィーチャーフォンに比べスマートフォンを利用している被験者が多い。なお、募集時には男女の区別なく募集を実施したが 20 代の男性が多い結果となった。図 3-48 には、本実験において被験者が避難した経路及び使用した避難場所を示す。表 3-44 には、ヒアリング結果の回答を示す。

表 3-43 被験者に関する情報

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H
性別	男	男	男	男	男	男	女	女
年代	20代	20代	30代	20代	20代	20代	20代	20代
利用携帯端末の種類*	S	F	S・F	S	S	S	F	S

*S: スマートフォン, F: フィーチャーフォン

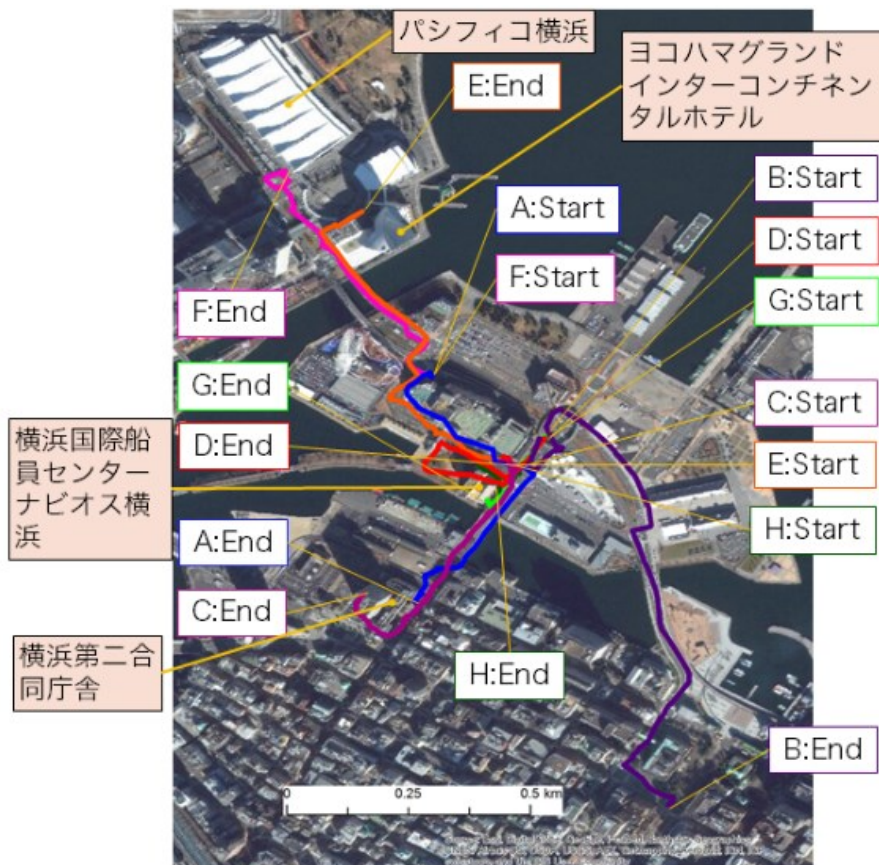


図 3-48 避難実証実験における被験者避難経路及び避難場所

表 3-44 ヒアリング結果

番号	ヒアリング項目	内容	回答結果
1	本システムの総合的な印象について	大災害時の情報空白期（インターネットや携帯電話等が使用できない期間）において、災害ツールとして有効か	有効 4 人 やや有効 4 人
2		1 において特にそう感じた点（複数回答）	情報の受信性 3 人 情報の速報性 4 人 情報の信頼性 1 人 行動の誘発性 2 人 エリア配信性 2 人 避難支援アプリ 2 人 無回答 2 人
3		津波避難以外にどのような活用法が考えられるか（土砂・火災等の他のハザード、救助・安否確認等の防災活動など）	
4	情報の受信性	災害情報をいつでも受け取ることができたか	全て受け取れた 3 人 ほとんど受け取れた 4 人 どちらともいえない 1 人
5		（システム仕様である屋外において）災害情報をどこでも受け取ることができたか	全て受け取れた 6 人 ほとんど受け取れた 2 人
6		システムは災害情報を入手する手段として有効か	有効 6 人 やや有効 2 人
7		受信性についてのその他、意見	
8	情報の速報性について	情報の受信時間と発表時間のタイムラグを感じたか	感じなかった 7 人 どちらともいえない 1 人
9		情報の受信時間と発表時間のタイムラグが問題となったか	問題とならなかった 7 人 無回答 1 人
10		システムの情報の速報性は妥当か	妥当 7 人 やや妥当 1 人

番号	ヒアリング項目	内容	回答結果
11		速報性についてのその他, 意見	
12	情報の信頼性について	システムから提供される情報に対する信頼性はあるか	信頼できる 5人 少し信頼できる 1人 どちらともいえない 2人
13		信頼性についてのその他, 意見	
14	行動の誘発性について	システムによって, 災害時の行動が誘発されたか	誘発された 7人 やや誘発された 1人
15	エリア配信について	受信した情報が自分のエリアの情報と認識できたか	認識できた 4人 少し認識できた 2人 どちらともいえない 2人
16		自分のエリアの情報を受け取ることで, メリットがあったか	あった 8人
17		エリアごとに受信した情報によって適切な行動を行えたか	行えた 2人 どちらかといえば行えた 3人 どちらともいえない 3人
18		他のエリアの情報は必要か	やや必要 1人 どちらともいえない 1人 やや必要でない 3人 必要でない 3人
19		情報のエリア配信(ユーザーの位置に応じた情報提供)は有効か	有効 6人 やや有効 2人
20	エリア配信についてのその他, 意見		
21	避難支援情報提供サブシステムについて	避難支援情報提供サブシステムは災害時の行動に有効か	有効 6人 やや有効 2人
22		災害時の行動(避難所選択, 避難ルートなど)に対して影響があったか	あった 6人 どちらかといえばあった 2人

番号	ヒアリング項目	内容	回答結果
23		自分の状況の把握を行えたか	行えた 6人 どちらかといえば行えた 2人
24		災害情報詳細表示は有効か	有効 4人 やや有効 2人 どちらともいえない 2人
25		避難方向提供部は有効か	有効 3人 やや有効 1人 どちらともいえない 2人 やや有効でない 1人 有効でない 1人
26		避難地図提供部は有効か	有効 7人 やや有効 1人
27		避難所表示は有効か	有効 6人 どちらともいえない 1人 やや有効でない 1人
28		津波予測図表示は有効か	有効 5人 やや有効 1人 どちらともいえない 1人 回答対象外 1人
29		津波予測図表示の更新は有効か	有効 4人 どちらともいえない 1人 やや有効でない 2人 無回答 1人 回答対象外 1人
30		避難支援情報提供サブシステムについてのその他の意見	
31		移動中に情報の受信ができることは有効か	有効 7人 やや有効 1人
32		携帯端末で情報が受信できることは有効か	有効 8人

番号	ヒアリング項目	内容	回答結果
33		アプリケーション（防災情報提供部及び避難支援情報提供サブシステム）全体の操作性（通知の表示を含めて）はわかりやすいか	有効 2 人 やや有効 5 人 どちらともいえない 1 人
34		情報の表示方法で、改善が必要と感じた情報はあったか	あった 6 人 なかった 2 人
35		システムが提供する情報がわかりやすいか	わかりやすい 5 人 ややわかりやすい 3 人

(1) 情報の受信性

表 3-45 に被験者ごとの端末表示状況及び被験者自身のログ確認による防災情報の確認状況を防災情報の受信状況として示す。端末表示状況は、端末が防災メッセージを受信後、被験者がいるエリアの防災メッセージを防災情報として復号化し、端末への表示の有無を示している。なお、防災メッセージは冗長化のため端末は同一の防災メッセージを複数回受信しているが、初回のみ表示し、端末内部に表示ログとして記録する。また、被験者への通知はスマートフォンのステータスバーへの表示、音声及びバイブレーションによって行う。被験者自身の情報確認は、被験者自身がスマートフォンのステータスバーに表示された防災情報を選択し通知ログ画面に移行した操作及び通知ログ画面表示中に音声等による通知を受け更新ボタンを押した操作を示しており、表 3-43 にはその有無を示した。端末表示状況及び情報確認状況は、1 回以上表示及び確認できた情報を「○」、1 回も表示及び確認できなかった情報を「×」とした。なお、被験者の避難が完了した後の情報については「-」で示した。震度速報（#5）については、直後に配信される震源に関する情報との配信間隔が短いため、ユーザーが操作している間に震源に関する情報が配信され、同時に通知されている可能性があるため「△」とした。被験者 H については実験開始後 1 分 40 秒から 3 分 10 秒までの間端末が一時停止し震度速報を受信できなかったため、「-」で示した。なお、他の被験者は表示された防災情報の順に情報を取得しているが、被験者 H のみ津波警報の前に津波情報を受信している。

図 3-49 の a) に本システムの情報の受信性について、実験終了後に被験者に対してヒアリングを実施した結果について示す。なお、円グラフ内の数字については、人数を示している。

表 3-45 防災情報の受信状況

防災情報	A		B		C		D		E		F		G		H	
	端	確	端	確	端	確	端	確	端	確	端	確	端	確	端	確
震度速報 (#1)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
震度速報 (#2)	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-
津波警報	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
津波情報 (#1)	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
震度速報 (#3)	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×
震度速報 (#4)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	-	○	×
震度速報 (#5)	○	△	○	△	○	○	○	○	○	△	○	○	-	-	○	×
震源に関する情報	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	×
大津波警報	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
津波情報 (#2)	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
震度速報 (#6)	-	-	○	○	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-

端：端末表示 確：被験者による情報確認

- 有効でない ■ やや有効でない ■ 緊急地震速報 ■ 震度速報
- どちらでもない ■ やや有効 ■ 津波警報(#1) ■ 津波情報(#1)
- 有効

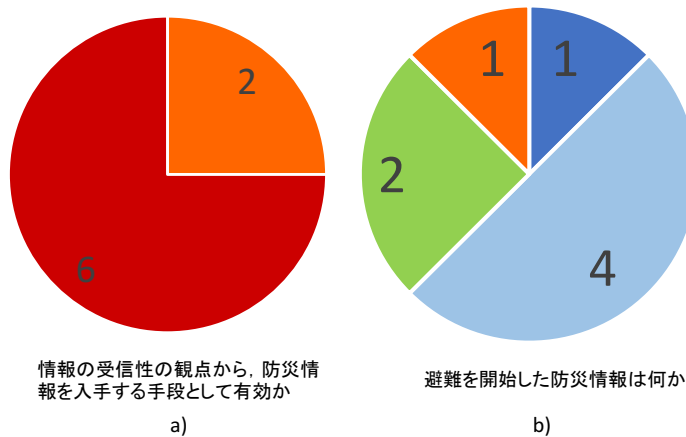


図 3-49 情報の受信性及び行動の誘発性のヒアリング結果

(2) 情報の速報性

表 3-44 から、情報の速報性については、多くの被験者がタイムラグを感じておらず、また、タイムラグ自体に問題を感じる被験者はいなかった。このことから、システムの情報の速報性については、妥当という意見が多数を占めていた。しかしながら、「避難時には発表時間自体を気にしていない、気づかなかった」という意見もあった。また、「システム自体にタイムラグが発生しないものちいう前提で使用した」という意見もあった。

(3) 情報の信頼性

表 3-44 から、情報の信頼性について妥当という意見が多数を占めていた。「災害時には信頼するしかない」「信頼して行動した」という意見があった。

(4) 行動の誘発性

表 3-38 に情報確認後のコンテンツ使用状況を示す。表は被験者が防災情報の確認後に使用したコンテンツについて操作ログの履歴から示したものである。使用したコンテンツは防災情報内について時系列順で示している。各被験者は、色の塗られたコンテンツに対応する防災情報確認後に避難を開始している。なお、被験者 B については、緊急地震速報確認後、避難を開始している。被験者 F は、操作ログの不具合により避難地図提供部及び津波浸水予測図提供部の使用状況の区別がつかなかったため、ヒアリングにより把握できているものを「*1」、区別できないものは「*2」と注記した。「方向」は避難支援情報提供サブシステムのうち避難方向提供部を、「地図」は避難地図提供部を、「浸水」は津波浸水予測図提供部を使用していることを示す。「ログ」は図 3-29 の防災通知ログ画面のみの確認、「詳」は防災通知ログ画面から図 3-30 のメニュー画面を通して防災情報詳細画面を確認したことを示している。また、「避」は避難方向提供部において避難所情報の確認及び避難所が記載している場合はその避難所を選択したことを示している。「×」については情報の確認をしていないものを、「-」については被験者の避難が完了したことを示している。なお、震度速報 (#5) については、直後に配信される震源に関する情報との配信間隔が短いため、ユーザーが操作している間に震源に関する情報が配信され、同時に通知されている可能性があるため「△」とした。被験者 H については、実験開始後 1 分 40 秒から 3

分 10 秒までの間端末が一時停止し、震度速報を受信できなかったため、「-」で示した。表 3-46 にはヒアリング結果から得た更新された津波情報等の情報取得後の行動について示す。

図 3-50 に移動軌跡と防災情報の受信状況を示す。図中のプロットについては、赤色は防災メッセージが受信できていない状況を示している。吹き出しには時刻及び防災情報を記載しており、そのプロットの位置及び時刻において端末が防災情報をユーザーに対して通知したことを示している。図 3-51 は、被験者の実験開始後からの累積移動距離を示しており、図から被験者が歩行を開始した時間及び避難完了までの時間を示している。

図 3-49 の b) には、本システムの行動の誘発性について、実験終了後に被験者に対してヒアリングを実施した結果について示しており、避難を開始した防災情報についてのヒアリング結果を示している。なお、円グラフ内の数字は人数を示した。

表 3-46 更新された津波情報等の情報取得後の行動

被験者	情報取得後の行動
A	避難場所を確認していたため、そのまま避難継続
B	避難を継続
C	避難場所が目前であり、内容を把握していない
D	避難先を変更（津波高さが変更されたので、上層階へ移動）
E	避難先を変更（津波到達時間が早くなったため、近い避難先に変更）
F	避難先を変更（津波高さが変更されたので、上層階を目指す）
G	情報取得前に実験終了
H	情報取得前に実験終了



図 3-50 被験者 F の移動軌跡と防災情報の受信状況
(国土地理院基盤地図情報に追記)

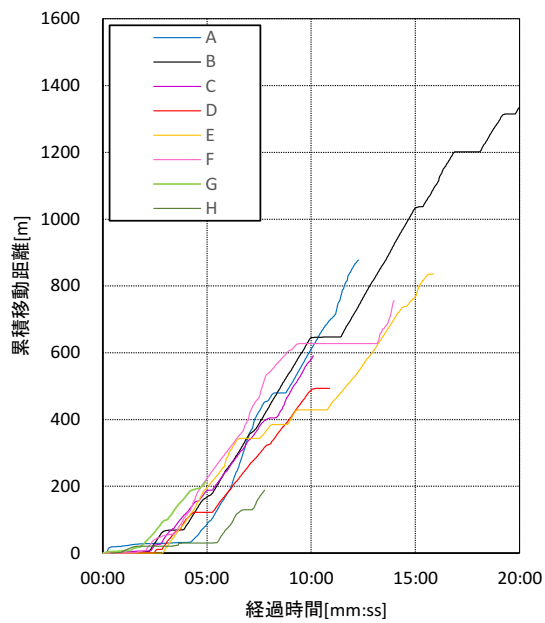


図 3-51 累積移動距離

(5) エリア配信性

図 3-52 に被験者 F の端末の防災通知ログ画面の一部及び津波警報及び津波情報の詳細画面を示す。詳細画面は、ユーザーのいるエリア、津波警報及び津波情報については予報区が表示されており、被験者は自身のいるエリアとその防災情報の詳細を確認することができる。

図 3-53 及び図 3-54 には、本システムの情報のエリア配信性について、実験終了後に被験者に対してヒアリングを実施した結果について示している。なお、円グラフ内の数字については人数を示している。情報のエリア配信性については肯定的な意見が出るものの、他のエリアの情報については近親者などの状況が気になることから、「必要ではない」とまでは言い切れないという意見があった。特に災害直後の緊急時については自分のエリアだけの情報の方が良いが、避難が完了した後であれば他の地域の情報を取得したいという意見もあった。



図 3-52 詳細情報表示画面結果 (一例) (被験者 F)

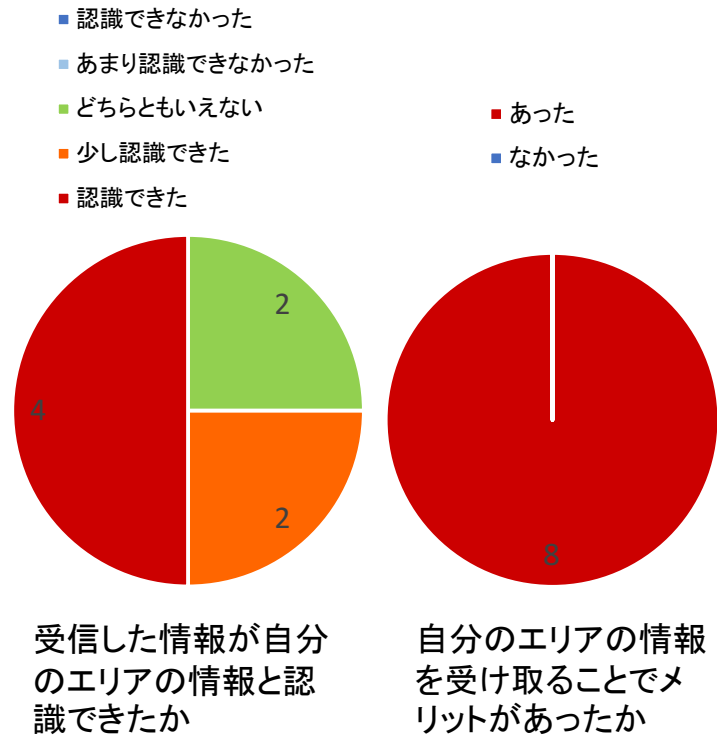


図 3-53 エリア配信性についてのヒアリング結果 (1/2)

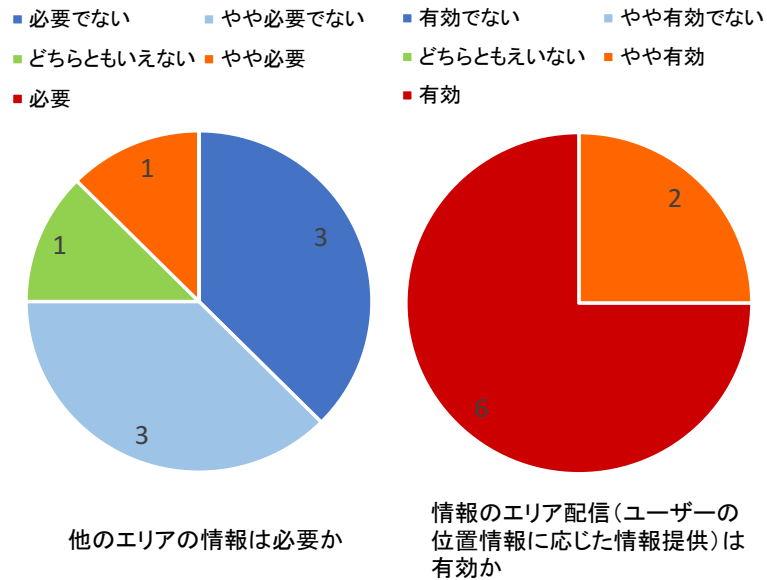


図 3-54 エリア配信性についてのヒアリング結果 (2/2)

(6) 避難支援情報提供サブシステム

表 3-44 から、避難支援情報提供サブシステムについて、特に「被験者が携帯している端末に対して情報を伝達すること」については、多くの被験者が有効であると回答している。特に、「普段携帯電話を使っているため、携帯電話で受信できることで十分である」という意見があった。「移動中の被災者に対しても情報を提供すること」については、表 3-38 から多くの被験者が避難時に準天頂衛星からの防災情報の取得及び避難支援情報を使用して避難行動を行っていることが確認でき、多くの被験者が移動中に情報の受信をできることが有効であると回答している。特に、「リアルタイムで更新できる」という意見や、「通常のスPEEDであれば徒歩中でも確認できる」という意見があった。「危険地域を表示すること」については、被験者 A について表示する設定になっていなかったという不具合が発生したが、表 3-38 から多くの被験者が避難時に使用しており、多くの被験者が有効であると回答している。なお、「浸水深についての表示が分りづらいためシンプルにするべき」という意見があった。「被災者自身の状況を表示すること」については、表 3-38 から多くの被験者が避難地図提供部及び津波予測図表示を使用しており、多くの被験者が自分の状況を把握できたと回答している。自己位置については、「自分の位置がわかった」という意見が多数を占めたが、「画面上の表示がわかりにくかった」という意見もあった。

3.4.4.4 避難実証実験による評価

(1) 情報の受信性

情報の受信性を評価するに当たり、準天頂衛星から配信された防災メッセージが、ユーザーに防災情報として受信され避難行動に使用するまでの流れを整理すると以下の通りとなる。①準天頂衛星が配信する防災メッセージを端末が受信、②被験者のいるエリアの防災メッセージを復号し防災情報として端末上に表示、③被験者が端末上の防災情報を確認、④被験者が防災情報を理解し避難行動を実施。情報の受信性としては、①は端末内部の処理でありユーザーの視点から把握することはできない。また、④については情報の受信性ではなく行動の誘発性の範囲となる。③については、情報確認の有無はユーザーの判断に基づく為、システムの領域外となり、②のユーザーが情報を確認するために防災情報を受信し表示すること、が情報の受信性の評価となる。特に本システムでは優先度の高い津波

警報・注意報の情報を再配信により伝達することを目的として、配信スケジュールを策定している。そこで、本論文のユーザー視点の情報の受信性の評価は、ユーザーに優先度の高い情報である津波警報・注意報を端末上に表示することと定義する。その結果、表 3-45 より全ての条件において津波警報・注意報が端末上に表示されていることが確認でき、情報の受信性を確認した。また、実験終了後のヒアリングにおいて、被験者に配信した情報を提示し、その情報の受信の有無及び行動についてのヒアリングを行うとともに、システムの受信性について「防災情報を入手する手段として有効化か」のヒアリングを行ったところ、図 3-49 に示すように「有効」及び「やや有効」という回答で占められた。

次に情報受信後に表示した情報についての、ユーザーの情報の確認について考察を行う。表 3-45 は端末の表示に対してユーザーの端末操作による情報の確認を示している。このことから、概ね被験者は端末表示後、ログの確認を行っていることがわかる。しかしながら、震度速報の更新情報や津波情報等を確認していない被験者もいる。これらの被験者は端末の操作ログから、地図画面や避難所画面等の操作を行っていることが確認できており、通知よりもその操作を含む避難行動に重点を置いていると考えられる。特に津波警報・注意報についてはログを確認していることから、通知自体は認識しつつも避難行動を優先させていることが考えられる。このように被験者は優先度の高い津波警報・注意報を確認しており、また避難行動を行っているものの、避難行動中の更新情報の中でも重要な情報が配信される可能性があるため被験者に対してこれらの情報についても確認させるためのユーザビリティについて今後検討する必要がある。なお、端末上に表示された情報に対する男女及び平時から使用する携帯端末の種類による影響は見られなかった。

(2) 情報の速報性

表 3-44 のヒアリング結果から、速報性については、多くの被験者がタイムラグを感じておらず、またタイムラグ自体に問題を感じる被験者もいなかったことから、今回の実験ではあまり影響がなかったと考えられる。また、発生したタイムラグを考慮しても被験者にとって、許容できる範囲内のタイムラグであったと考える。しかしながら、本システムでは、バースト欠落が大きく発生することによって、後に再配信の情報を受け取る可能性もあり、システムとして必ずしもタイムラグが発生しないわけではない。特に、発表時間

自体を気にしていない被験者もいるため、この情報がいつの情報であったかを認識させる方法について、今後検討する必要がある。

(3) 情報の信頼性

表 3-44 のヒアリング結果から、被験者は配信された情報について信頼して行動をとっていることがわかった。この項目については、準天頂衛星という特別なシステムで配信を行っているため、SNS やツイッターなどと比べ、無条件で信頼していると考えられることもできる。更なる信頼性を高めるために、情報の発信元の記載等の改善が必要である。

(4) 行動の誘発性

本システムでは、ユーザーが所持する個人の端末に準天頂衛星を利用して防災情報を配信することで、ユーザーはその防災情報を避難行動中において受信可能である。情報の受信性の評価について前述したが、システムは防災情報の送受信だけではなく、避難行動のトリガ（行動の誘発性）となることが重要である。そこで、本システムについて避難行動を誘発する観点において、ユーザー視点からの有効性を評価した。

ユーザーは本システムにより、防災情報を受信・確認後、必要に応じて避難支援情報提供サブシステムを使用し、避難所若しくは高台などの安全地域に向けて歩行を開始すると考えられる。このことから、避難方向提供部、避難地図提供部、津波浸水予測図提供部等の避難支援情報提供サブシステムの使用は、周辺の避難所位置、避難所情報、周辺地図を確認することから、避難所もしくは安全地域に避難するための一連の避難行動の一部であると考えられる。そこで、本論文ではこれらの避難支援情報提供サブシステムの使用及び避難所に向けた歩行を避難行動と定義した。その結果、表 3-38 の被験者の情報確認後のコンテンツ使用状況から、全ての被験者において、トリガとなる防災情報は異なるものの、情報を確認した後に避難方向提供部、避難地図提供部、津波浸水予測図提供部をそれぞれ使用していることを確認した。なお、一部の被験者では、避難方向提供部の使用により避難先の指定を行なっている。また、図 3-50 の被験者の移動軌跡の一例及び図 3-51 の累積移動距離からも、被験者が防災情報を確認後、避難を開始していることを確認した。

また、表 3-44 のヒアリング結果から、行動の誘発性については、多くのユーザーは避難

行動が誘発されたと回答しているおり、図 3-49 のヒアリング結果から、避難を開始した情報については、震度速報が最も多く次いで津波警報により避難を開始したという回答を得た。

また、今回の実験条件では津波警報・注意報及び津波情報について、津波警報から大津波警報へ警報レベルを上げた更新情報の提供を行った。そこで、更新情報による被験者の行動について検討を行う。その結果、津波警報・注意報及び津波情報の更新時には、表 3-46 に示す更新された津波警報・注意報の情報確認後の行動のヒアリング結果、被験者の行動履歴及び表 8 の情報確認後のコンテンツ使用状況より、対象となる被験者 4 名中 3 名が更新情報を確認後、避難場所の変更等を行っていることを確認した。

本実験では、被験者に対して実験開始前に端末に提供される情報に基づいて自分の判断で行動することを依頼しており、避難の強制を行ってはいない。しかしながら、実験として避難行動をとることを必須であると認識していた可能性も否定できない。また、実験自体の拘束時間も数時間としており、数日かけて災害がいつ発生するかわからないような、災害の突発性の再現まではできていない。このようなことから、本実験においては、上記の条件下において、行動分析結果及びヒアリング結果から、システムの使用が避難行動の誘発に定性的に効果があることを確認した。

行動の誘発性を考える上では、システムがユーザーへ防災情報を提供してから、実際にユーザーが避難行動に移すまでのギャップをいかに埋めるかが重要となる。本論文では、行動の誘発性について、その効果の一部を確認するまでに留まったが、本システムの実用化を考えるに当たっては、本システムが埋めうる上記のギャップについて低減させる必要がある。システムにおける防災情報の表現及び通知がユーザーに対して与える影響、更新した情報を見落とす確率等の検討を行う必要がある。また、プロトタイプでは、準天頂衛星から提供された各防災情報について、端末が初めて受信した際にユーザーに通知している。今回の実験においては、防災情報が頻繁に更新されたため、他の防災情報受信時にユーザーが確認気付かない場合においても、他の情報取得時に気付くケースがある。しかしながら実際の災害時においては、防災情報が頻繁に更新されないケースも考えられることから、より避難行動への誘発を考える上では、端末が受信した情報のうち未読の情報については、再読を促す通知を行う仕組みや、取得から一定期間経過した情報についても、避

難行動を誘発する観点から再通知する仕組みを検討する必要がある。特に、再通知間隔の設定では、間隔が短い場合は、避難行動を阻害する可能性及びユーザー自身で解除設定を付与した場合には解除される可能性が考えられ、行動の誘発性を保つ適切な間隔の設定を検討する必要がある。

(5) エリア配信性

本システムでは、測位衛星のひとつである準天頂衛星を利用した防災情報の配信を行っていることから、位置情報を同時に取得し、ユーザーの位置に応じた情報の提供として、ユーザーのいるエリアに対する防災情報を提供する（エリア配信性）。そこで、本システムのエリア配信性についての有効性をユーザーの視点より評価を行った。

図 3-53 及び図 3-54 のヒアリング結果から、エリア配信性について有効であるという回答を得た。これについては、緊急時には自分のいるエリアの情報があれば十分であることや自分のいるエリアの情報の提供を受けることで避難行動が促進されたという意見があった。自分のいるエリア外の情報については、多くの被験者から必要ないという回答が得られた。しかしながら、やや必要でない、どちらともいえない、やや必要という回答をした被験者の中には、近親者のいるエリアの情報については取得したいという意見もあった。また、今回の実験のような地震発生直後に津波から避難する緊急度の高い状況においては、自分のいるエリアの情報だけで十分であるが、避難完了後については自分のいるエリア外の情報も必要という意見もあった。このようなことから、今回本システムが対象としているのは、災害発生直後において津波から避難する状況であるため、提供する情報についてはユーザーの位置に応じた情報が適切といえるが、避難完了後、一定の時間が経過した状況においては表示方法の変更等により、ユーザーのいるエリア外の情報も見ることができ機能の追加を検討する必要がある。また、エリアの情報については、ユーザーのいるエリアに対応した情報の提供を考えているが、エリアの境界にユーザーがいた場合、位置情報の誤差等を考慮すると実際に自分のいるエリアではないエリアの情報が表示される可能性もある。このようなことから、境界付近については双方の情報を提供する等の改善を行うとともに、双方のエリアのオーバーラップする距離等についても検討する必要がある。

(6) 避難支援情報提供サブシステム

表 3-44 のヒアリング結果から、「被験者が携帯している端末に対して情報を伝達すること」については、全員が有効であると回答していることから、その有効性を確認した。特に今回選定した被験者の多くは、携帯電話を所持していることから、身近な端末としてその有効性を高く評価したと考えられる。

「移動中の被災者に対しても情報を提供すること」については、表 3-44 のヒアリング結果から、多くの被験者が移動中に情報の受信をできることが有効であると回答している。また、表 3-38 のコンテンツの使用状況から多くの被験者が避難時に準天頂衛星からの防災情報の取得及び避難支援情報を使用して避難行動を行っていることから、移動中に対しての情報提供が有効であると考えられる。

「危険地域を表示すること」については、被験者 A については表示する設定となっていなかったという不具合が発生したが、表 3-38 のコンテンツの使用状況から多くの被験者が避難時に使用しており、表 3-44 のヒアリング結果から、多くの被験者が有効であると回答していることから、危険地域として津波浸水予測図を表示することは有効であると考えられる。しかしながら画面の煩雑さも指摘されており、この点の改善を行う必要がある。また、表示する津波浸水深についても、今回は警報のレベルに応じて変更することまで確認したが、実施の表示について、最も危険な領域のみ表示するべきなか、震度に合わせて表示を変えるべきなのかの議論を行う必要がある。

「被災者自身の状況を表示すること」については、表 3-38 のコンテンツの使用状況から多くの被験者が避難地図提供部及び津波予測図表示を使用しており、表 3-44 のヒアリング結果から多くの被験者が自分の状況を把握できたと回答していることから、被災者自身の状況を表示することが有効であると考えられる。

(7) 被験者の避難行動分析

本項では各被験者の図 3-48 に示す避難移動履歴及びヒアリング結果及び表 3-38 のコンテンツの使用状況から得られる避難行動から避難の適切性について検討を行い、本システムの防災情報伝達についての有効性の検討を行った。

被験者 A は海側の避難経路を避けることから横浜第 2 合同庁舎を避難場所として選

択し、津波警報確認後、実験開始から約 4 分後に避難を開始し約 12 分後に避難を完了した。また被験者 C も距離と建物高さを重視し避難場所として横浜第 2 合同庁舎を選択し、震度速報確認後、実験開始から約 2 分後に避難を開始し約 7 分後に到着した。しかしながら、被験者 A 及び C は避難時に津波情報の詳細情報を確認していなかったため、津波の到達時刻を認識していなかったと推察される。実際には津波の到達時刻を参考に経路上の避難所である横浜船員センターナビオス横浜（以下、「ナビオス横浜」）への避難も検討に入れる必要がある。海から遠ざかる避難を実施したという回答を得ている被験者 B も同様に津波情報の詳細情報を確認しておらず、特に更新された津波情報の更新情報を確認していなかったため、津波到達時刻において周囲の建物への緊急避難を行わなかった。これらについては、コンテンツとして詳細情報への誘導が弱かったことなどが考えられ、詳細情報への誘導や重要な情報へのアクセシビリティを上げるなどの検討が必要である。また、被験者 C は避難場所到着後、23 階まで上がることを宣言し実験を終了しており、建物内部に入ることにより防災情報の取得ができなくなる点については、津波の高さが変更された場合にこの建物が飲み込まれる状況であれば、他の建物に避難しても同様との認識から上の階にあがったと回答している。

被験者 D は、避難開始地点より最も近いナビオス横浜を避難場所として選択し、震度速報確認後、実験開始から約 2 分後に避難を開始している。しかしながら、津波警報及び津波情報の取得からナビオス横浜からの避難先の変更を検討したものの、表示されている別の避難所までの到着に時間がかかると判断し、避難場所に指定されていないが、建物高さのあるワールドポーターズへ避難を行っている。なお、更新された津波情報詳細情報確認後、津波高さの変更を知り上層階への垂直避難を行っている。

被験者 E は、標高と距離から日産自動車グローバル本社を避難場所として選択し、津波警報確認後、実験開始から約 3 分後に避難を開始している。避難場所は避難開始地点から直線で 1.5 km 以上離れているが、被験者は津波情報の詳細情報から津波が避難開始時から 17 分後に到達することを考慮した上で避難が完了すると判断した。被験者は避難行動中も他の避難場所への変更を検討しており、更新した津波情報の詳細情報確認後、津波到達時間が早くなったことから避難経路上最も近いヨコハマグランドインターコンチネンタルホテルに避難場所を変更した。被験者は実験開始から約 15 分後に避難場所に到着して

おり、当初選定した避難先への避難は難しかったものの、移動中に避難情報を取得することにより更新した情報を取得し避難を完了することができた。

被験者 F は、一時避難場所としてパシフィコ横浜を選択している。震度速報受信後、実験開始から約 2 分後に避難を開始し約 9 分後に到着している。到着後も情報の受信を継続しており、更新された津波情報の詳細情報確認時に、津波高さの変更から、さらに上の階に移動することを選択している。避難場所到着後も情報を継続した理由としては、避難場所の高さが十分でありすぐに高い場所へ移動できることと、周囲の状況を確認するため一時的に情報の受信を優先したと回答している。

被験者 G は、震度速報確認後、実験開始から約 1 分 20 秒後に実験開始地点から最も近い避難所としてナビオス横浜へ向けて避難を開始している。実験開始から約 3 分 25 秒後に津波情報を受信し安全と判断しナビオス横浜に入り避難を終了している。約 5 分後に避難を完了しており、早期避難という観点からは適切といえる。同様に被験者 H も、避難決定前に情報を受信しながら周囲を移動した後、津波警報確認後、実験開始から 5 分後にナビオス横浜に向けて避難している。選定理由としては、最も近い避難所と回答している。実験開始後 7 分 46 秒後に安全と判断しナビオス横浜に入り避難を終了している。なお、被験者 G 及び H は女性であり、男性の被験者と比べ、近い距離の避難所を選択しており、早期に避難を終了している。

被験者の避難移動履歴及び避難行動から、行動の誘発性同様、避難行動中に情報を取得により、更新された情報に対して柔軟に避難行動を対応することが可能である。しかしながら、提供した情報を被験者に確実に利用してもらうためには、ユーザビリティや情報のアクセシビリティを上げるなどの対応が求められる。

4章 複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報

配信システム

4.1 はじめに

3章では日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの構築を行い、その評価を実施した。準天頂衛星のサービスエリアであるアジア・オセアニア地域では、日本と同様に地震・津波が発生しており、2004年のスマトラ島沖地震により生じたインド洋大津波では、被災者約206万人、死者・行方不明者は約23万人に及ぶ被害を出した[67]。特にこのインド洋大津波では各国が津波警報を発令し住民に防災情報を伝達する体制が整備されていなかったことが被害を大きくした原因の一部とされ、このことから、インド洋における津波警報体制構築の取り組みが行われ、2011年にインド洋津波警報システムとして正式に運用され[68][15][16][17]、2012年4月にインドネシア・スマトラ島沖で発生した地震において実運用された[56]。しかしながら、インドネシアでは津波警報伝達の役割として放送局を主体に考えているが、テレビ、ラジオから情報を得た人が10%余りであるのに対して、近所の人や電話、メール等から防災情報を得たという人は60%前後に上っており[69]、ユーザーへの情報伝達という観点では課題を残す結果となった。また、東日本大震災時と同様に大規模災害時には情報空白期が発生する懸念もある。このようなことから、測位衛星を利用した防災情報配信システムは、日本のみならず国外においても利用のニーズがある。特に、アジア地域ではインド洋津波のように広域な災害も発生することから、日本国外での利用として、複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを構築する。そこで、複数国を対象とした本システムにおける課題について、システム設計を行うことにより明らかにする。

4.2 要求分析

4.2.1 サービスエリア

本システムで対象とするインド洋津波に対しては、インド洋津波警報システムにより防災情報が伝達されている。このインド洋津波警報システムの特徴としては、RTSP と呼ば

れるオーストラリア気象局（ BoM ），インド国立海洋情報センター（ INCOIS ），インドネシア気象・気候・地球物理庁（ BMKG ）の 3 機関が津波警報に関する情報を各国の National Tsunami Warning Centers (NTWCs) に配信し，NTWCs が自国のシステムに応じて自国のユーザーに対して防災情報を提供している[15][16][17]。このインド洋津波警報システムは，インド洋において津波の被害が懸念される国及び地域を対象としており，情報の配信国（地域）として 2014 年 10 月現在，29 カ国（地域）を対象としている[70]。そこで，本システムでは将来的に他の測位衛星との相互運用性を考慮し，少なくとも準天頂衛星の信号が届き，情報を取得できる可能性のある地域に情報を送ること及び広い対象エリアに対しての影響を把握する観点から，この対象国のうち準天頂衛星の仰角 30 度以上の時間帯が 1 時間以上ある国及び地域をサービス対象国とした。対象国について表 4-1 及び図 4-1 に示す。インド洋津波警報システムでは国及び地域を数箇所のエリアに分割し，そのエリアに対して津波の警報等を発表している。本システムにおいてもエリアに応じた防災情報を提供するため，インド洋津波警報システムで使用しているエリアに対して防災情報の配信を行う。なお，各国及び地域におけるエリア数を表 4-1 に，各国及び地域ごとのエリアを図 4-2 に示す。

表 4-1 サービス対象国及びエリア数

No	国及び地域名	エリア数
1	AUSTRALIA	14
2	BANGLADESH	4
3	BRITISH INDIAN OCEAN TERRITORY	3
4	FRENCH SOUTHERN AND ANTARCTIC LANDS	1
5	INDIA	55
6	INDONESIA	198
7	MALAYSIA	20
8	MALDIVES	9
9	MYANMAR	26
10	SINGAPORE	1
11	SRI LANKA	13
12	THAILAND	6
13	TIMOR-LESTE	1

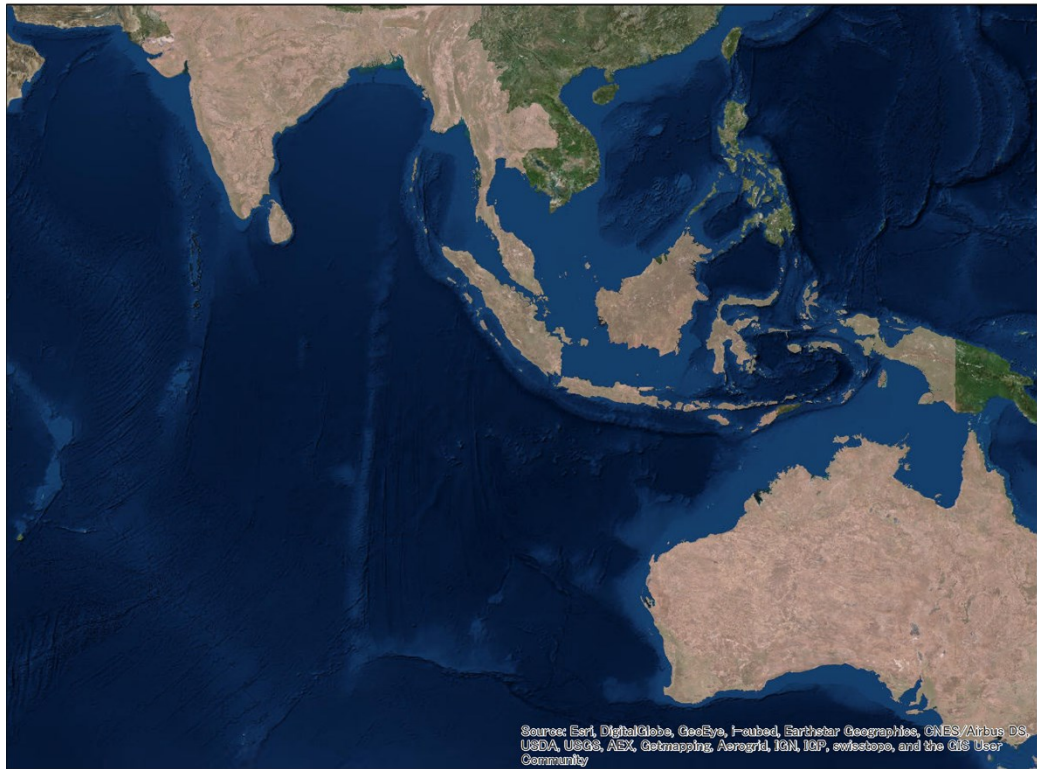


図 4-1 サービス対象国

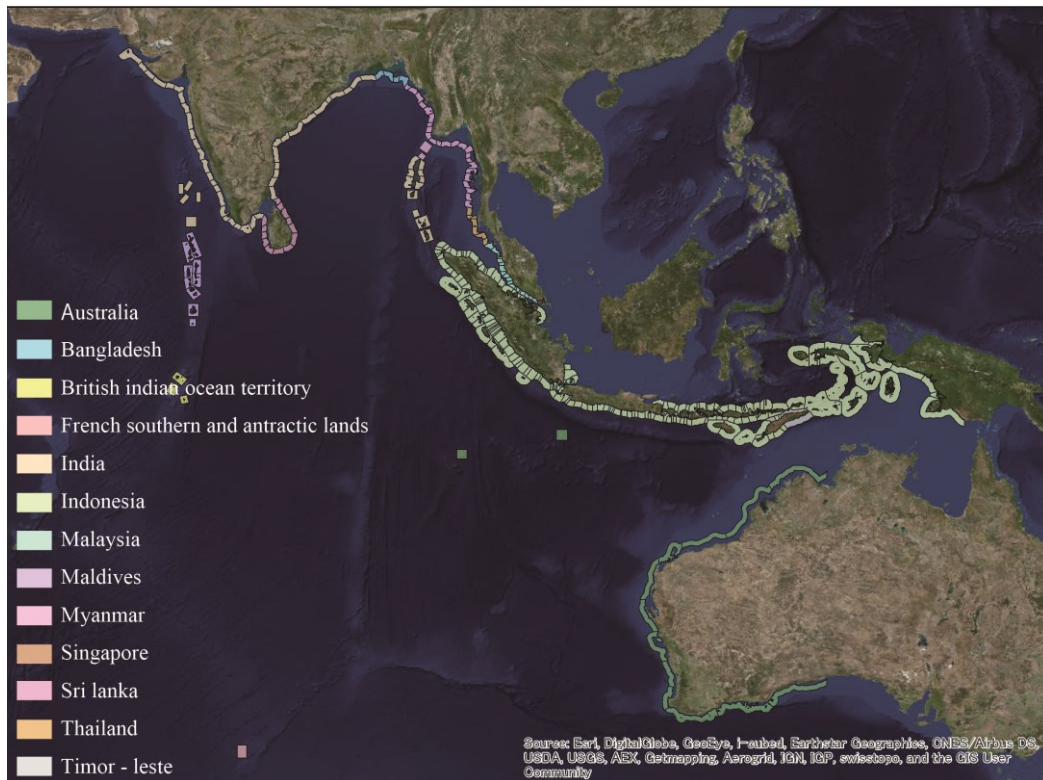


図 4-2 サービス対象国ごとのサービスエリア

表 4-2 ステークホルダの分類

分類	日本のステークホルダ	インド洋津波のステークホルダ
①受信者	利用者（被災者）	利用者（被災者）
②運用者	システム運用者，QZSS 運用者，GNSS 運用者	システム運用者，QZSS 運用者，GNSS 運用者
③送信者	気象庁，地方自治体	RTSP（インド，インドネシア，オーストラリア）
④その他	既存の防災サービス，総務省，消防庁，内閣府，測位補強サービス利用者，監督官庁，宇宙機関	NTWCS，既存の防災サービス，測位補強サービス利用者，監督官庁，宇宙機関，配信国の関係省庁

4.2.2 ステークホルダの特定

本システムのステークホルダについて特定を行う。ステークホルダの分類については、国内と同様に①受信者、②運用者、③送信者に分類される。表 4-2 に日本での津波地震災害及びインド洋津波を対象にした本システムのステークホルダを示す。

日本のシステムからの変更点としては、③送信者について、日本では気象庁、地方自治体であったがインド洋津波では、3 国の RTSP となる。また、④その他について、各国の NTWCS、RTSP の各国の監督官庁や配信国の関係省庁を考慮する必要がある。また、最重要ステークホルダは、日本と同様に利用者である。ただし、日本では 1 国の利用者を考慮すれば良いが、インド洋津波では被災国全ての利用者を考慮する必要がある。

4.2.3 ステークホルダ要求

ステークホルダ要求を行うにあたり、最重要ステークホルダである利用者の要求は、本来各国の利用者によりその要求が異なることが考えられる。本研究においては、第 1 にシステムの利用可能性の確認が必要であるため、各国の利用者に対する要求については、今後の研究において実施することとし、日本国内を対象に検討した利用者の要求を使用することとする。また、国外での利用においては地方行政までは考慮しないものとし、ステークホルダの要求を表 4-3 とした。なお、11 の準天頂衛星で配信可能なことについては、日

本国内と要求に変化はないが、日本国外で使用する場合には、準天頂衛星の配置の変化を考慮し使用する必要がある。

4.2.4 システム範囲の明確化

図 4-3 に複数国を対象とした本システムに対するユースケース図を示す。本システムにおいて複数国を対象とした場合、情報発信者及び利用者が複数の国に存在することとなるが、システムの範囲は日本国内を対象としたユースケース図からは変更はない。しかしながら、日本国外では準天頂衛星の配置が時間及び場所に応じて変化するため、追跡管制局では送信する準天頂衛星を選択する必要性が生じ、uc 13 の配信スケジュールの策定において使用する衛星を選択する必要がある。また、複数の国の情報発信者からの情報を収集し、複数の国の利用者に情報を配信するため、uc 13 の配信スケジュールの策定及び uc 14 の防災メッセージに変換するにおいて、複数国への対応を考慮する必要がある。

表 4-3 複数国を対象とした本システムに対するステークホルダ要求

番号	要求	要求元
1	情報を確実に伝達すること	利用者
2	情報を迅速に伝達すること	利用者
3	避難行動のきっかけとなる情報を伝達すること	利用者
4	信頼性の高い情報を伝達すること	利用者
5	被災者のいるエリアに対しての情報を提供すること	利用者
6	被災者が携帯している端末に対して状況を伝達すること	利用者
7	移動中の被災者に対しても情報を提供すること	利用者
8	危険地域を表示すること	利用者
9	被災者自身の状況を表示すること	利用者
10	情報ソースの変更による対応が可能なこと	防災情報発表機関
11	準天頂衛星で配信可能なこと	QZSS 運用者
12	測位精度が劣化しないこと	測位補強サービス利用者

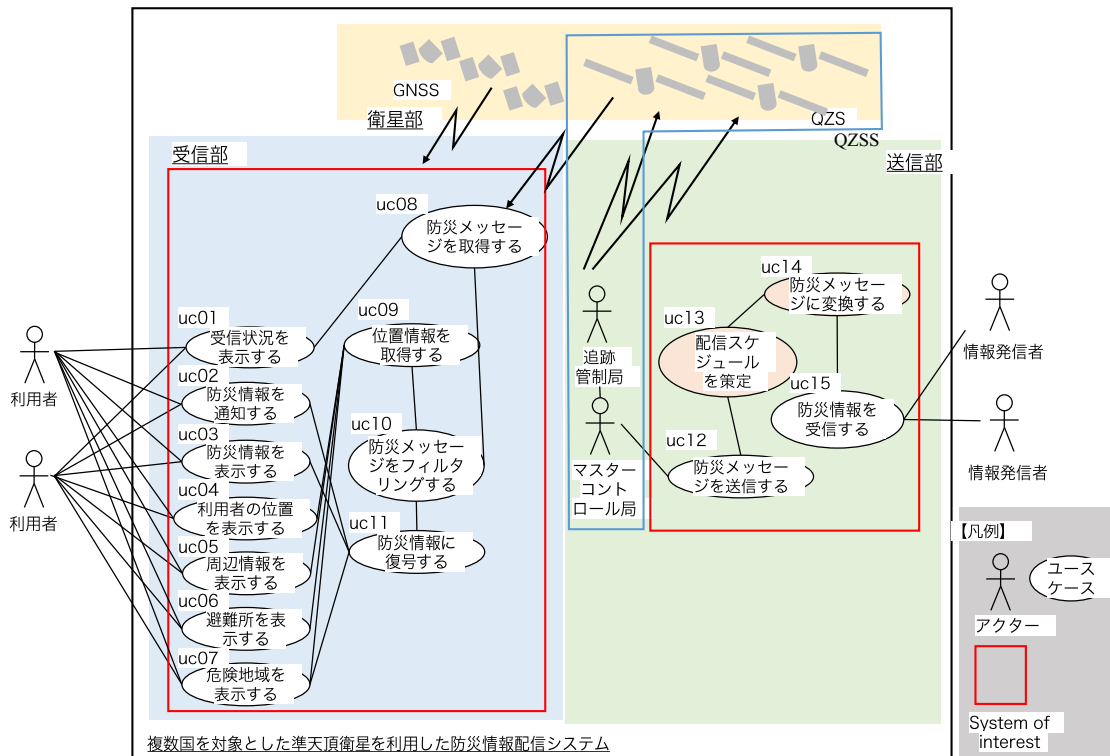


図 4-3 複数国を対象とした本システムに対するユースケース図

4.2.5 システム要求及び要求の検証識別性

変更したユースケースに基づき、複数国を対象とした本システムの要求についての検証識別性を確認するため表 4-4 に示す RVTM を整理した。なお、日本国内を対象として既に検証している項目については Verification 項目に「Done」と表記した。また、本システムの最上位要求は、「情報空白期にユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を複数の国のユーザーに提供すること」に変更され、またミッション要求についても、「情報空白期に迅速かつ有効な情報を複数国のユーザーに提供することで、ユーザーの避難支援を行うこと」に変更する。

表 4-4 複数国を対象とした本システムの RVTM

レベル	ID	Name	Make or Buy	要求	根拠	Verification
0	0	全体システム	M	1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を迅速に伝達するとともに、避難支援情報を 複数の国 のユーザーに提供すること	1.1 - 1.4	D
1	1.1	送信部	M	1.1 複数の国に応じた 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換し、迅速に送信すること	1.1.1.3 - 1.1.1.5	A, D
2	1.1.1	防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム	M	1.1.1.1 複数の国からの 防災情報を受信すること	1.1 , Use case	×
3			M	1.1.1.2 防災情報を準天頂衛星で配信するための防災メッセージに変換すること	S 要求 (12), 1.1, Use case	Done
3			M	1.1.1.3 複数の国からの 最低限有効な防災情報を必要な時間内 (1 分 50 秒以内) に送信すること	S 要求 (2)	A
3			M	1.1.1.4 送信する防災メッセージの防災情報を 複数の国及び エリアに応じて設定すること	S 要求 (5), 1.2.2	A
3			M	1.1.1.5 ユーザーに最低限有効な防災情報を送信するための 複数の国への 配信方法を設定すること	S 要求 (1, 3, 4)	A

レベル	ID	Name	Make or Buy	要求	根拠	Verification
3			M	1.1.1.6 防災メッセージの防災情報領域は, 1 メッセージ 212 bits 以内であること	S 要求 (12)	Done
3			M	1.1.1.7 測位精度が劣化しないこと	S 要求 (13)	Done
3			M	1.1.1.8 提供する情報の変更に対応可能なこと	S 要求 (11)	Done
1	1.2	受信部	M	1.2 携帯している端末で複数の国及びユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を取得し, ユーザーに防災情報及び避難支援情報を提供すること	S 要求 (6, 7)	D
2	1.2.1	防災情報取得提供サブシステム	M	1.2.1 情報空白期においてユーザーのいるエリアに応じた最低限有効な防災情報を取得し, ユーザーに防災情報を提供すること	1.2.1.1 - 1.2.1.3	D
3	1.2.1.1	防災メッセージ・位置情報取得部	B	1.2.1.1 携帯している端末で防災メッセージ及び位置情報を取得すること	1.2 Use case	Done
4			B	1.2.1.1.1 防災メッセージを取得すること	1.2 Use case	Done
4			B	1.2.1.1.2 位置情報を取得すること	1.2 , Use case	Done
4			B	1.2.1.1.3 L1-SAIF 信号を受信すること	Use case	Done
4			B	1.2.1.1.4 L1/CA 信号を受信すること	Use case	Done
4			B	1.2.1.1.5 静止状態における単独測位	1.2.2.3	Done

レベル	ID	Name	Make or Buy	要求	根拠	Verification
				の位置精度は 128 m 以下であること		
4			B	1.2.1.1.6 信号補足時間が 90 秒以下であること	1.2	Done
4			B	1.2.1.1.7 防災メッセージ受信状態において 30 分以上受信状態を保つこと	1.2.1.1	Done
4			B	1.2.1.1.8 避難行動中に受信可能なこと	1.2.1.1	Done
4			B	1.2.1.1.9 ノミナルにおける信号損失率が 50 % 以下であること	1.1.5.2	Done
3	1.2.2	防災情報取得部	M	1.2.1.2 複数の国及びユーザーのいるエリアに応じた防災情報を取得すること	S 要求 (5)	D
4			M	1.2.1.2.1 複数の国及びユーザーのいるエリアに応じた防災メッセージをフィルタリングすること	1.2.1.2 , Use case	D
4			M	1.2.1.2.2 防災メッセージを防災情報に復号すること	1.2.1.2 , Use case	Done
3	1.2.3	防災情報提供部	M	1.2.1.3 携帯している端末で防災情報を提供すること	1.2	Done
4			M	1.2.1.3.1 防災メッセージの受信状況を通知すること	防災メッセージ受信状況の分析より	Done
4			M	1.2.1.3.2 新しい防災情報取得時に通知すること	1.2 , Use case	Done
4			M	1.2.1.3.3 取得した防災情報を表示する	1.2 ,	Done

レベル	ID	Name	Make or Buy	要求	根拠	Verification
				こと	Use case	
4			M	1.2.1.3.4 防災情報の履歴を表示すること	S 要求 (10)	Done
4			M	1.2.1.3.5 避難行動中に表示すること	1.2.1.3	Done
2	1.2.2	避難支援情報提供システム	M	1.2.2 情報空白期において避難支援情報を提供すること	1.2.4.1 - 1.2.4.3	Done
2			M	1.2.2.16 オフラインデータの所持容量により提供するコンテンツを変更可能なこと	1.2.4.5	Done
3	1.2.2.1	避難方向提供部	M	1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	S 要求 (9)	Done
3			M	1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	目的	Done
3			M	1.2.2.6 避難所の方向を算出すること	1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.7 避難所の距離を算出すること	1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.8 避難所の方向を表示すること	1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.9 避難所の距離を表示すること	1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.10 ユーザーの周囲の避難所を抽出すること	1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.11 避難所をユーザーが選択すること	1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.12 避難所リストを表示すること	1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.13 避難所情報を提供すること	1.2.2.4	Done
3	1.2.2.2	避難地図提供部	B	1.2.2.2 周辺地図を表示すること	S 要求 (9)	Done
3			B	1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	S 要求 (9)	Done

レベル	ID	Name	Make or Buy	要求	根拠	Verification
3			B	避難所の位置を表示すること 1.2.2.4	S 要求 (9), 1.2.2.4	Done
3			B	1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	目的	Done
3	1.2.2.3	津波浸水予測図提供部	M	1.2.2.14 津波浸水予測図を表示すること	1.2.2.1 , 1.2.2.2	Done
3			M	1.2.2.3 ユーザーの位置, 高さを表示すること	S 要求 (9), 1.2.2.3	Done
3			M	1.2.2.4 避難所の位置を表示すること	S 要求 (9), M1.2.2.4	Done
3			M	1.2.2.5 オフラインで避難支援情報を提供すること	目的	Done

4.3 アーキテクチャ設計

4.3.1 機能設計

4.3.1.1 機能分析

複数国を対象とした本システムの機能について表 4-5 に示す。対応する要求の番号については、表 4-4 が対応する。日本国内を対象としたシステムに対し、赤字で示した機能が必要となる。

表 4-5 要求と機能の対応

Level	ID	機能名	対応する要求
0	F0	防災情報伝達機能	1
1	F1.1	防災情報送信機能 (複数国)	1.1
3	F1.1.1	(防災情報収集機能)	1.1.1.1
3	F1.1.2	防災メッセージ変換機能 (複数国)	1.1.1.2-6, 1.1.1.8
3	F1.1.3	配信スケジューリング機能 (複数国)	1.1.1.3, 1.1.1.5, 1.1.1.7
1	F1.2	防災情報取得提供・避難支援機能	1.2
2	F1.2.1	防災情報取得提供機能	1.2.1
3	F1.2.1.1	防災メッセージ・位置情報取得機能	1.2.1.1
4	F1.2.1.1.1	防災メッセージ取得機能	1.2.1.1.1, 1.2.1.1.3, 1.2.1.1.6, 1.2.1.1.7
4	F1.2.1.1.2	位置情報取得機能	1.2.1.1.2, 1.2.1.1.4, 1.2.1.1.5
3	F1.2.1.2	防災情報取得機能 (複数国)	1.2.1.2
4	F1.2.1.2.1	エリアフィルタリング機能 (複数国)	1.2.1.2.1
4	F1.2.1.2.2	防災情報復号機能 (複数国)	1.2.1.2.2
3	F1.2.1.3	防災情報提供機能	1.2.1.3
4	F1.2.1.3.1	防災メッセージ受信状況表示機能	1.2.1.3.1
4	F1.2.1.3.2	防災情報通知機能	1.2.1.3.2
4	F1.2.1.3.3	防災情報表示機能	1.2.1.3.3
4	F1.2.1.3.4	防災通知ログ表示機能	1.2.1.3.4
2	F1.2.2	避難支援情報提供機能	1.2.2
3	F1.2.2.1	危険地域表示機能	1.2.2.1, 1.2.2.5
3	F1.2.2.2	周辺地図表示機能	1.2.2.2, 1.2.2.5
3	F1.2.2.3	ユーザー位置情報表示機能	1.2.2.3, 1.2.2.5
3	F1.2.2.4	避難所位置表示機能	1.2.2.4, 1.2.2.5

4.3.2 物理設計

4.3.2.1 システム構成への機能の配分

図 4-4 に本システムのアーキテクチャ図を示す。日本国内を対象とした本システムからの変更点としては、防災メッセージ変換機能（複数国）、配信スケジュールリング機能（複数国）、エリアフィルタリング機能（複数国）、防災情報復号機能（複数国）になることから、これらに対応するシステムについて検討する必要がある。

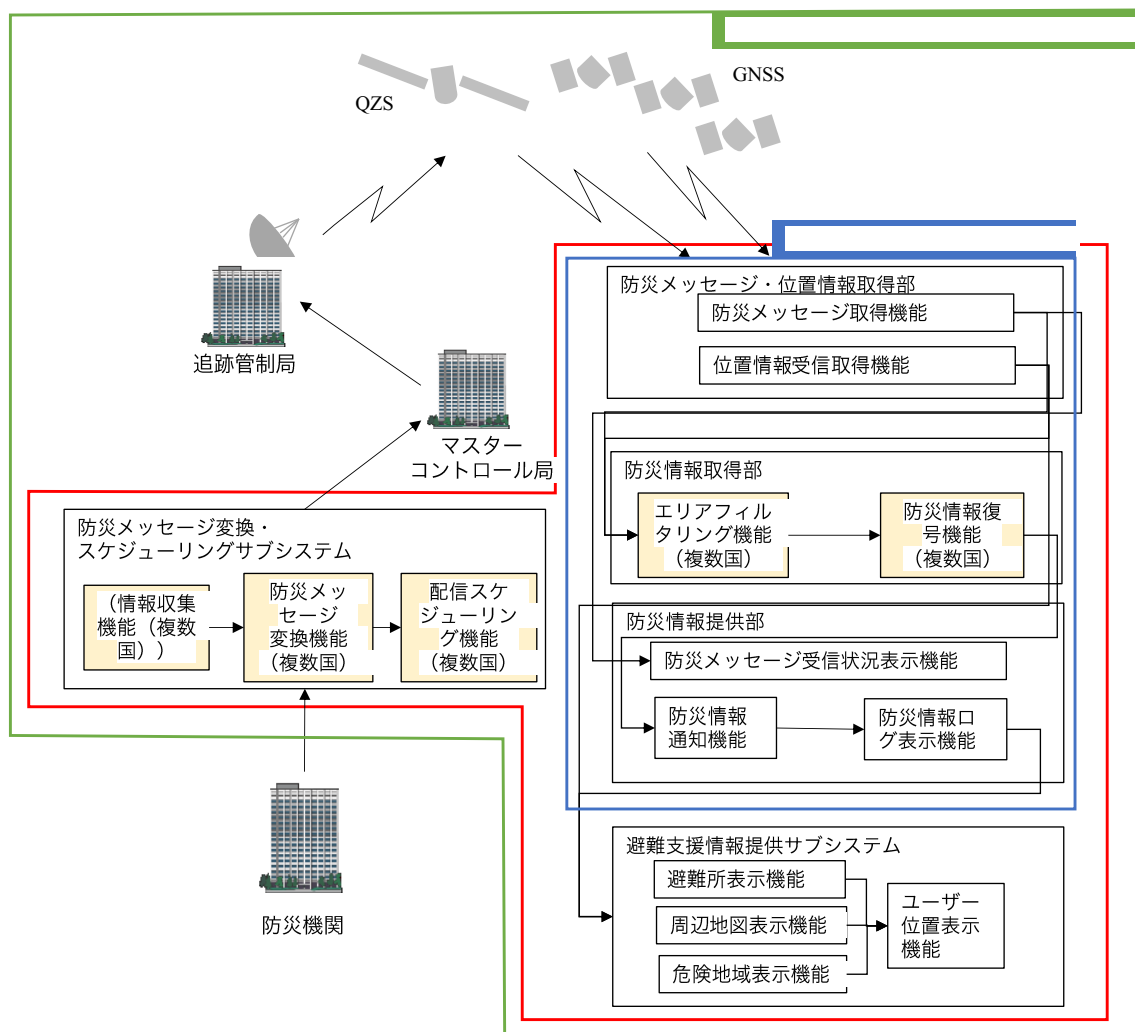


図 4-4 複数国を対象とした本システムのアーキテクチャ図

4.4 複数国を対象としたシステムにおける課題と検討

4.4.1 複数国を対象としたシステムにおける課題

システム設計により，複数国を対象とするために必要な機能について明らかとなった。そこで，これらの機能を実現するためには，下記の課題を解決する必要がある。

- (1) 複数国から情報を取得し，複数国へ配信するための情報量が増大することによる配信性への影響
- (2) 時間と場所により変化する準天頂衛星の配置による受信性への影響

そこで，本項では上記の課題を解決するための設計及び検討を行う。

4.4.2 防災メッセージと配信スケジュールの設計と検討

4.4.2.1 防災メッセージと配信スケジュールの設計

インド洋津波を対象とした本システムでは，3 国の RTSPs から情報の提供を受け，表 4-1 に示した 29 カ国 351 エリアに配信する。測位衛星を用いた情報配信は限られたデータ容量の範囲内で行う必要があるため，この配信性について検討する必要がある。

防災情報の配信については，情報量の制約からデータのコード化を行う。インド洋津波警報システムでは，予めサービスエリアを分割しそのエリアに対する防災情報の発表を行っている。このため，配信するためのメッセージフォーマットの定義については，MLTUBE プロジェクト及び A4A プロジェクトで検討している提供するエリアを可変の円で指定する方式の場合，複雑なエリア指定はメッセージ数が多くなることから，日本国内を対象にした本システムで検討した図 3-15 の 3 種類のメッセージフォーマット方式を利用することとする。

情報元となるインド洋津波警報システムの RTSPs からは地震発生後，表 2-2 に示す情報が発表される。Potential Threat 発表前までは Earthquake Bulletin を，Confirmed Threat 発表前までは Potential Threat を Final Bulletin が発表されるまで更新される度に発表を行う。本システムでは，RTSPs から発表される情報をそれぞれ表 4-6 の形に分類し，地震情報，津波警報及び津波情報の 3 種類の情報提供を行うこととする。提供する情報の内容とそ

それぞれの bit 数を表 4-6 に示す。地震情報については、同報配信方式で配信を行うため、全てのエリアに対して 1 メッセージで配信を行う。津波警報については Area code 方式を使用するため、本システムの対象エリアである 351 エリア全てに配信するためには、6 メッセージが必要である。このため、ユーザーの視点からは、6 つの防災メッセージの内、1 メッセージは自身のいるエリアの情報であるが、他の 5 メッセージについては、自身のいるエリア外の情報となる。なお、防災情報は各 RTSP から提供されるため、本システムでは、提供された RTSP の情報について機関を定義した上で配信を行う。

表 4-6 配信する防災メッセージの内容とデータ容量

災害情報	メッセージフォーマットの種類	内容(bit)		配信エリア数	1 メッセージで送ることができる可能なエリア数	配信エリアに配信するために必要なメッセージ数
地震情報	同報配信方式	共通情報	Issued date (32), Origin time (11), Latitude (32), Longitude (32), Depth (10), Magnitude (7)	all	all	1 message
津波警報	エリアフラグ方式	共通情報	Issued date (32), Origin time (11)	351 areas	70 areas	6 messages
		エリア情報	Warning level*1 (140 = 2 bits × 70 areas)			
津波情報	エリアコード方式	共通情報	Issued date (32)	配信したいエリア数に応じて	4 areas	—
		エリア情報	Area code (10), Estimated tsunami arrival time (11), Estimated tsunami arrival heights*2 (14) (140 = 35 bits × 4 areas)			

*1 Threat/ No threat/ Unknown

*2 XX.XX [m]

防災メッセージは配信スケジュールに基づいて配信する。配信スケジュールについては、日本国内を対象とした本システムの配信スケジュールを基に構築する。日本国内を対象とした配信スケジュールでは、情報の優先度と繰り返し数の設定を行い、受信状況に関わらず最低限有効な防災情報を配信した。そこで、インド洋津波警報システムを対象としたプロトタイプにおいても、同様に情報の優先度を設定する。なお、防災情報の優先度は、実運用時には本システムの情報配信に関わるステークホルダである NTWCs, RTSPs, 本システムのサービス運用機関において、NTWCs の要求に基づいてサービス運用機関と RTSPs が協議の上、予め規定することを想定する。本システムはユーザーに防災情報を提供し避難行動を誘発する必要があることから、避難行動のトリガとなる情報が本システムにおける優先度の高い情報と考える。また、本システムが配信可能な情報は小容量であるため、その情報量が少ないことが望ましい。このため、避難行動への誘発性の効果と情報量とのトレードオフから優先度を判断する必要がある。そこで、プロトタイプでは配信する3種類の情報の中から情報容量が少なくユーザーの避難行動への誘発性に対する効果の高い津波警報を最も優先度の高い情報とする。また、RTSP 毎に情報を発表しているため、それぞれ同じ種類の情報が提供されるが、情報の品質や精度に差異が生じる。このため、RTSP から最新情報が発表された場合に、既に他の RTSP が提供した情報では対象となっていないエリアの情報が含まれている可能性もある。この場合、そのエリアでは初めての情報となるため、新しく配信された情報に優先度を持たせる必要があり、同じ優先度を持つ情報については、配信した繰り返し数の数が少ないものを、同じ優先度において先に配信していた情報の繰り返し数になるまで優先的に配信し、同じ繰り返し数になった際には、交互に配信することとする。このようなことから、本システムの配信スケジュールのルールを以下の通りとした。

- (1) 防災情報の最新情報は一定数繰り返し配信を行う。
- (2) 防災情報は優先度を設定し、優先度の高い情報を優先的に配信する。このため、優先度が低い情報の配信中に優先度の高い情報が発表された際には、優先度の高い情報を配信する。
- (3) 同じ優先度の情報は交互に配信する。

(4) 同じ種類の情報かつ同じ機関から発表された最新情報が提供された際には、最新情報を配信する。

(5) 同じ種類の情報で異なる機関から発表された最新情報が提供された際には、繰り返しの少ない情報を優先的に配信する。

(6) 津波警報については、他の防災情報が配信されていない場合、再配信を行う。再配信時には優先度を変更する。

4.4.2.2 インド洋津波警報システムの訓練による検討

本システムの配信性について検討するため、インド洋津波を対象に再設計をしたメッセージフォーマット及び配信スケジュールを使用し、2011年にインド洋津波警報システムの訓練で使用したシナリオ[71]に基づき、RTSP からサービスエリアに対して一定時間内に配信した防災情報の配信回数から配信性を評価する。東日本大震災では津波浸水被害者のうち、津波が来る前に避難行動を開始した人の約 80% が 30 分以内に避難を開始している[50]ことから、30 分間の配信回数を評価する。

配信回数は

の防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムから準天頂衛星に配信される防災メッセージの回数とする。なお、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムからは、RTSP から収集した防災情報を防災メッセージに変換するとともに策定した配信スケジュール並びに航法メッセージとの配信間隔に基づき防災メッセージは配信される。また、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムからの配信回数は防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムから準天頂衛星まで損失がないと仮定した際に準天頂衛星から配信される配信回数と同一となる。また、今回の検討を行うに当たり、RTSP から防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムまでの情報伝達時間は 0 秒と仮定した。

本検討における設定条件を表 4-7 に示す。使用シナリオは 2011 年にインド洋津波警報システムの訓練シナリオとし[71]、RTSP が発表する防災情報を本システムで提供することを想定する。なおシナリオはスマトラ北西部でマグニチュード 9.2 の地震が発生した際の津波の発生をシミュレートしている。提供する防災情報は RTSP から提供される防災情報

のうち地震情報, 津波警報及び津波情報の 3 種類とした. 表 4-8 に地震発生から 30 分間に各 RTSP から発表される防災情報の時系列データを示す.

表 4-7 設定条件

シナリオ	Exercise Indian ocean wave 2011 [71] (スマトラ北西部マグニチュード 9.2 の地震を起因とした津波)
防災情報	Earthquake info, Tsunami warning, Tsunami info
実験エリア	Phuket (Thailand), Bali Tabanan (Indonesia)
時間	30 min
配信間隔	2 秒に 1 メッセージ
繰り返し数	4 回, 5 回

表 4-8 発表される防災情報

経過時刻	発表した Provider	BULLETIN#	防災情報	津波情報の対象エリア数	エリア	
					Phuket	Bali
0:00			Earthquake occurs			
0:05	RTSP India	1	Earthquake Info		○	○
0:05	RTSP Indonesia	1	Earthquake Info		○	○
0:05	RTSP Australia	1	Earthquake Info		○	○
0:10	RTSP India	2	Earthquake Info		○	○
			Tsunami Alert		○	○
			Tsunami Info	232	○	○
0:10	RTSP Indonesia	2	Earthquake Info		○	○
			Tsunami Alert		○	
			Tsunami Info	121	○	
0:12	RTSP Australia	2	Earthquake Info		○	○
			Tsunami Alert		○	○
			Tsunami Info	30		

本システムは現地の住民に対しても有効であるが、特に観光客に避難支援を行う上で有効であると考えている。そこで、配信回数を検討するエリアは、シナリオにおいて津波が襲来するエリアの中から 2004 年のインド洋津波において被害が大きく、また観光客の多いエリアであるタイ、プーケットとした。また、本システムは複数国に対しての配信の検討を行うため、シナリオ上で津波が来るエリアの中からタイと異なる国で観光客が多いエリアであるインドネシア、バリタバナンとした。なお表 4-8 に両地域での RTSP から発表された防災情報の提供の有無を示す。防災メッセージの配信間隔については、測位信号に影響を及ぼさない 2 秒に 1 メッセージとした。設計した配信スケジュールでは繰り返し数を受信確率と信号損失率の関係から設定する必要がある。繰り返し数が多い場合、一定の受信確率を満たすための信号損失率の許容範囲は広がるが、発表された防災情報を全てのエリアに配信するために時間を要する。今回の検討では、一定時間内における配信回数に評価をおいているため、繰り返し数についてもパラメータとし 4 回及び 5 回を設定した。なお、受信確率 95% 以上で 1 回以上の防災メッセージを受信するためには、繰り返し数 4 回の場合は信号損失率 47% 以下、繰り返し数 5 回の場合は信号損失率 54% 以下となる。

表 4-9 に対象エリアであるプーケット及びバリに対して配信した防災情報の配信回数を示す。なお、配信回数のうち、括弧で示した数字は再配信の回数を示している。図 4-5 に経過時間における防災情報の配信状況を示す。各防災情報におけるプロットがその時刻に防災情報が配信されたことを示している。

結果からプーケット及びバリでは全ての防災情報について各地域に向けて発表された回数に対して設定した繰り返し数分、防災情報が配信されている。このことから、本シナリオにおいてシステムは 30 分以内に漏れなく防災情報を提供することが可能であり、システムは配信性の観点から有効であるといえる。しかしながら、表及び図から繰り返し数 5 回の場合、30 分間に再配信回数が 2 回であり、ほぼ再配信がなされていない。繰り返し数 4 回の場合、再配信可能な時間が発生し再配信可能である。繰り返し数を減らすことは、情報の提供に時間のかかる津波情報の配信回数が減るため、津波警報を再配信で提供することが可能である。これにより、バースト欠落に対する影響を防ぐことができると

もに、津波警報及び津波情報をひとつの津波に関する情報として考えた際に提供できる回数が増大する。しかしながら、津波情報には津波到達時間や津波到達高さなど詳細な情報も含まれており、全ての情報を津波警報へ変更するべきではないと考える。このため、防災メッセージを1回以上取得可能な受信確率の範囲内で、把握した信号損失率の中から適切な繰り返し数を選択する必要がある。

表 4-9 システムが配信した防災情報回数

繰り返し数		4 回		5 回	
エリア		Phuket	Bali	Phuket	Bali
防災 情報	Earthquake info	24	24	30	30
	Tsunami alert	31 (19)	22 (14)	15	12 (2)
	Tsunami info	8	4	10	5

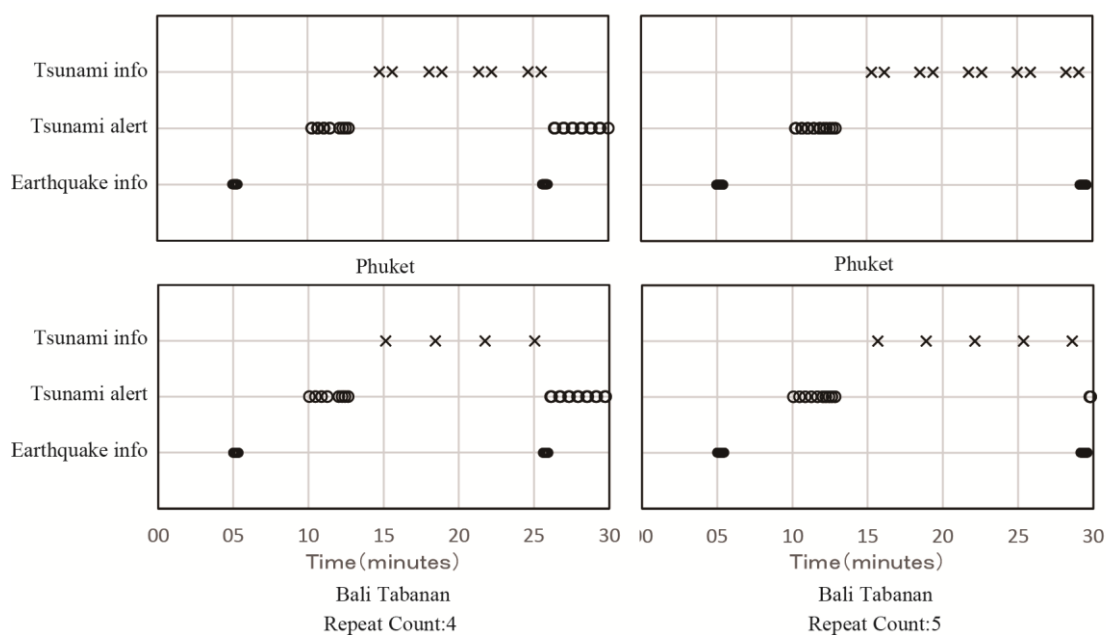


図 4-5 配信数の結果

4.4.2.3 エリア粒度に対する検討

4.4.2.2 では、システムの配信性について検討するため、2011 年にインド洋津波警報システムの訓練で仕様したシナリオに基づき、RTSPs から発表された情報のうち、本システムで定義したサービスエリアに対してそれぞれの情報を提供した場合における配信性について検討した。しかしながら、RTSPs から発表されるエリアについては、将来的に予測精度の向上により粒度が細くなる可能性も考えられることから、準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの能力として、どの程度細かいエリアに対して、どの程度の情報を送ることが可能かを把握する必要がある。そこで、本研究で検討したメッセージフォーマットを使用し、エリア粒度を変更した際に一定の情報を配信するために必要な時間について検討を実施した。検討は以下の 3 つの仮定の下実施した。

- (1) 仮定 1 : フォーマット情報 28 bits, 共通情報なし, 配信間隔 1 秒 1 回, 繰り返し数 1 回
- (2) 仮定 2: フォーマット情報 28 bits, 共通情報 43 bit (発信時刻及び発表時刻を想定), 配信間隔 1 秒 1 回, 繰り返し数 1 回
- (3) 仮定 3: フォーマット情報 28 bits, 共通情報 43 bit (発信時刻及び発表時刻を想定), 配信間隔 2 秒 1 回, 繰り返し数 5 回

インド洋津波警報システムでは、サービスエリアの海岸沿いに対して、図 2-2 に示す通り各国の海岸線により幅はあるものの、海岸線に沿って約 100 km, 海岸線に垂直に約 50 km の長方形の Coastal Forecast Zones (CFZ) を設定し、そのエリアに対して警報を発表している。そこで、今回の検討ではこの CFZ を基準とし、海岸線に沿ってさらに分割した場合を想定し検討を行う。そこで、本システムのサービス対象エリアの CFZ 351 エリア (海岸線約 100 km), CFZ エリアを 2 分割した 702 エリア (海岸線約 50 km), CFZ エリア 10 分割した 3,510 エリア (海岸線約 10 km) 及び CFZ を 100 分割した 35,100 エリア (海岸線約 1 km) において検討を実施した。また、サービス対象国である 13 カ国についても検討を実施した。

配信を想定する情報量については、ON/OFF などのフラグを想定した 1 bit、インド洋津波警報の警報レベル (Threat/No threat/Unknown) を想定した 2 bits において検討した。

検討結果について表 3-19 に示す。検討結果より、現実的な配信である仮定 3 からは、早期に情報を伝える必要のある災害時には、他の情報の配信を考えると現在のサービス提供エリアである CFZ での提供が現実的である。また、災害によって一定の地域へ配信する必要がある災害であれば、10 倍までは許容可能であると考えられる。

表 4-10 各エリアに配信するためにかかる時間

エリア数	仮定 1		仮定 2		仮定 3
	1 bit	2 bits	1 bit	2 bits	2 bits
13 (サービス対象国)	1 s	1 s	1 s	1 s	10 s
351 (CFZ) 約 100 km	2 s	4 s	3 s	5 s	50 s
702 (CFZ 2 分割) 約 50 km	4 s	8 s	5 s	11 s	110 s (1 m 50 s)
3,510 (CFZ 10 分割) 約 10 km	20 s	39 s	25 s	52 s	520 s (8 m 40 s)
35,100 (CFZ 100 分割) 約 1 km	191 s (3 m 31 s)	397 s (6 m 37 s)	249 s (4 m 9 s)	524 (8 m 44 s)	5,240 s (1 h 27 m 20 s)

4.4.3 準天頂衛星の配置による受信性への影響についての検討

日本国内においては、準天頂衛星は 3 機以上の体制の場合、少なくとも 1 機以上の準天頂衛星が日本の天頂上に配置される。しかしながら、日本国外においては、図 4-6 に示す通り、時間と場所により準天頂衛星の配置が変化する。このため、日本国以外の準天頂衛星の仰角が低いエリアにおいて、エリア内で津波等の災害が発生した際に、その避難行動中に準天頂衛星から防災情報を受信することが可能かどうかの受信性については、システムの有用性を検討する上で必要である。そこで、インド洋津波を対象としたシステムのプロトタイプを使用して、低仰角のエリアにおいて津波からの避難を想定した受信実験を行い、受信性についての検討を行った。

実験は地震津波災害時に、ユーザーが本システムにより防災情報を取得することで避難行動を開始し、防災情報を取得しながら徒歩で避難する際の防災メッセージの受信状況を計測した。実験条件を表 4-11 に示す。実験エリアはタイのプーケットのパトンとした。想定するユーザーは観光客とし、観光客が訪れる地域として考えられるビーチ、ショッピングセンター及び繁華街から避難所まで避難するルートを中心に図 4-7 に示す約 1km 四方のエリアにおいて主要な道路及びエリアにおける受信状況を取得した。なお、避難所及び避難経路はプーケットパトンの防災計画[72]から設定した。また、避難経路における移動受信の他に、図 4-7 に示す Measure Point において固定点において防災メッセージを受信した。なお、受信状況は準天頂衛星の見通しが影響することから、魚眼カメラ（オプト社製 NM33-N）を使用し天空画像を撮影した。

表 4-11 実験条件

実験日時	2014 年 10 月 7 日から 10 日
実験場所	Patong, Phuket, Thailand
防災メッセージ配信間隔	2 秒に 1 メッセージ

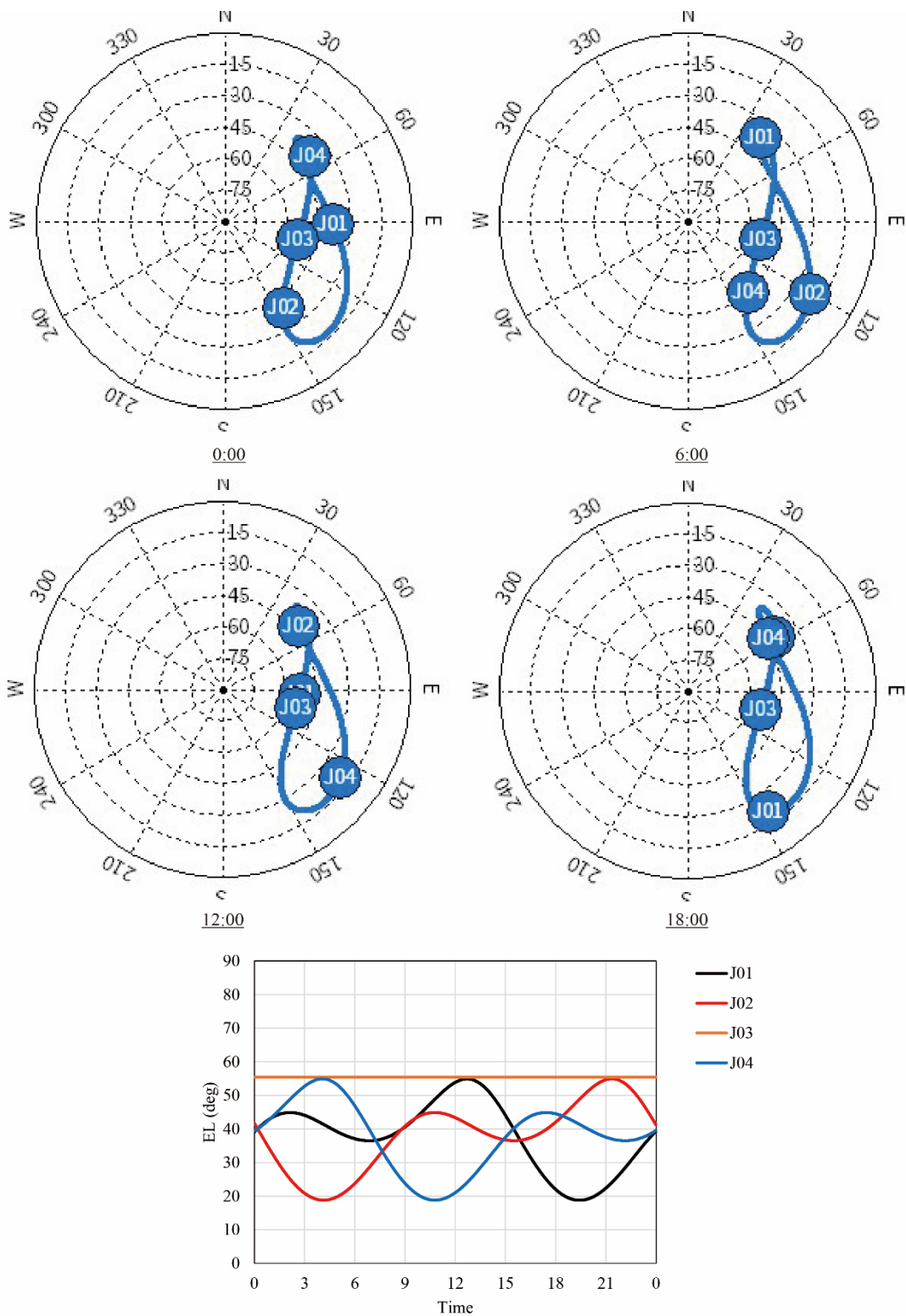


図 4-6 タイのプーケットにおける準天頂衛星の衛星配置及び仰角の時間変化



図 4-7 実験エリア

実験エリアにおける受信状況を図 4-8 に示す。黒色のプロットは防災メッセージを受信した地点を、橙色のプロットは防災メッセージを受信できなかった地点を示している。図 4-9 には、図 4-8 に示す各 Point の天空画像を示す。画像上には、各受信実験時の準天頂衛星の位置及び 2014 年 10 月 7 日から 10 日の準天頂衛星の軌道をオープンソースプログラムである Rtklib により計算し表示した。図 4-10 には、固定点のうち Measure point A で取得した防災メッセージの受信状況の時間変化及び L1-SAIF 信号の C/No の時間変化を示す。

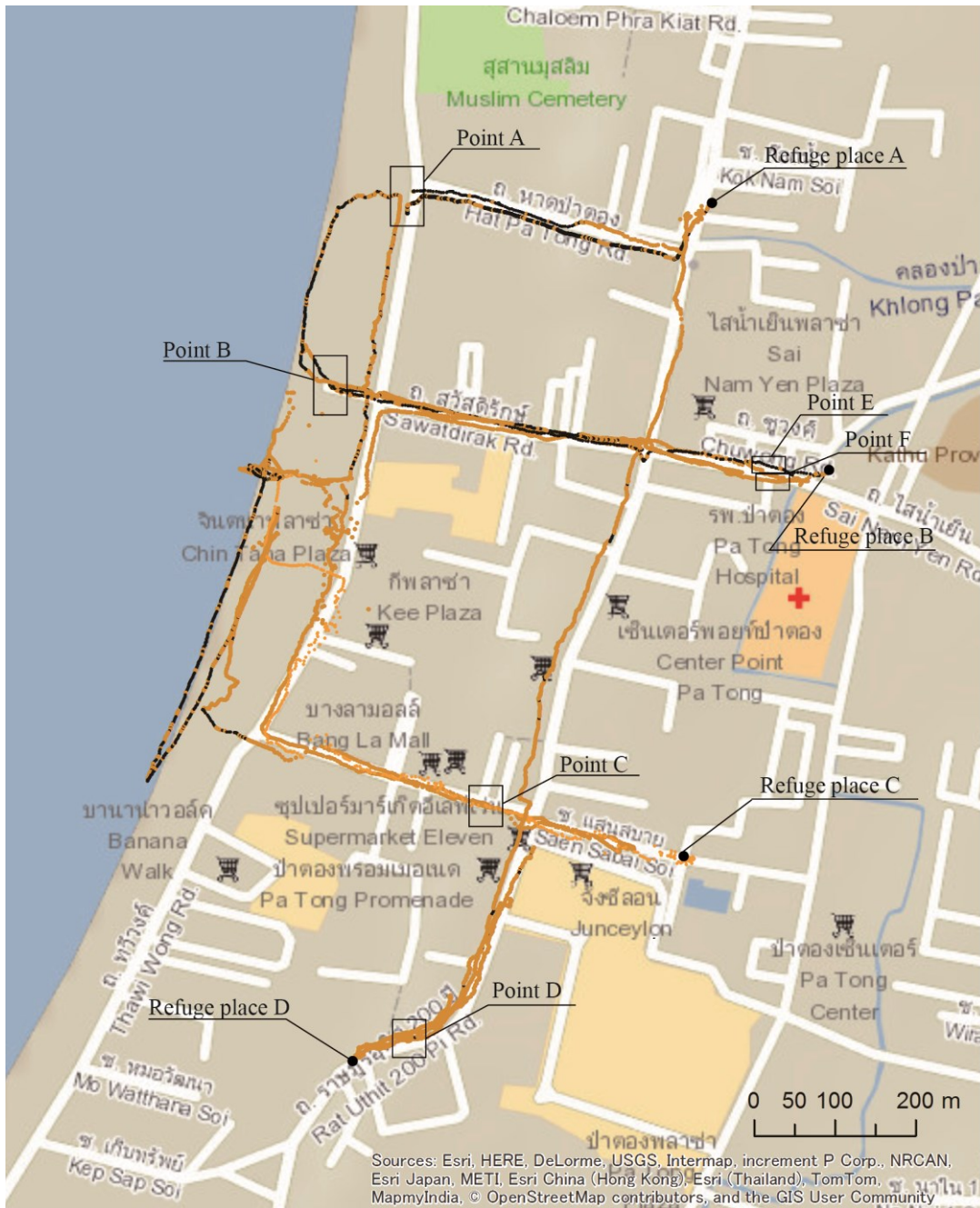
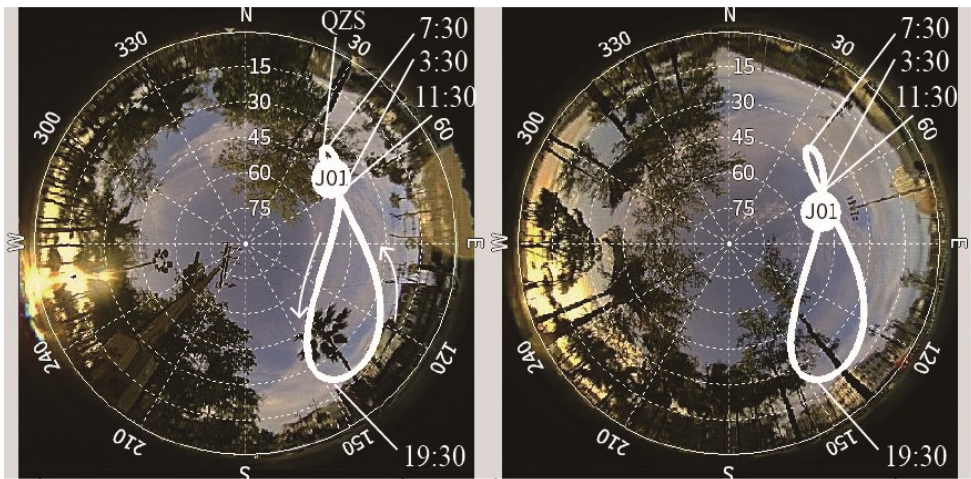
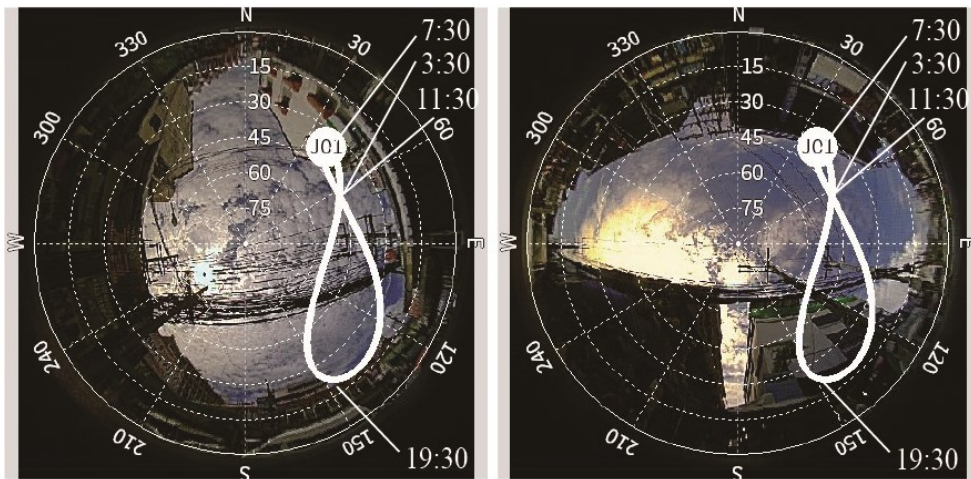


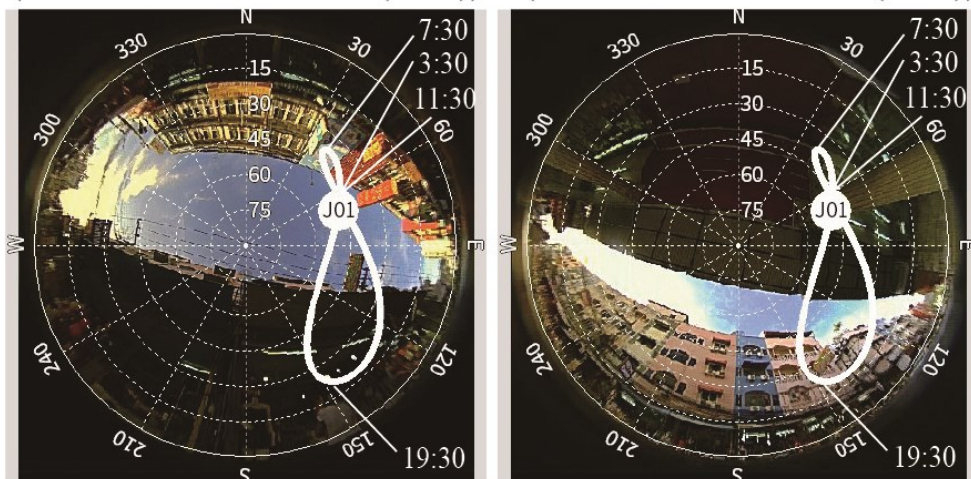
図 4-8 防災メッセージ受信状況



a) PointA (Satellite:2014.10.7 4:20(UTC)) b) PointB (Satellite:2014.10.10 12:00(UTC))



c) PointC (Satellite:2014.10.10 7:30(UTC)) d) PointD (Satellite:2014.10.8 7:30(UTC))



e) PointE (Satellite:2014.10.8 12:00(UTC)) f) PointF (Satellite:2014.10.8 12:00(UTC))

图 4-9 天空画像

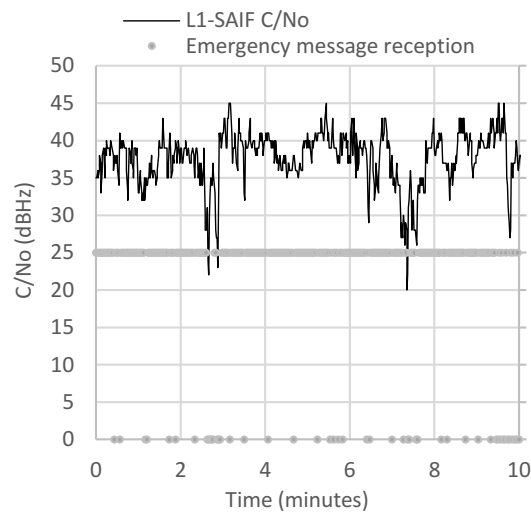


図 4-10 防災メッセージの受信状況の時間変化

(Measure point A, 2014.10.10 12:00-12:10 (UTC), QZS Elevation: 43 degrees)

実験結果からプーケットにおける受信状況は避難経路により異なる結果が得られた。特に Point C 及び Point D を含む避難経路では、ほぼ防災メッセージを取得することができなかった。これは図 4-9 の天空画像からも実験時に衛星が建物に遮蔽されており、信号を受信できなかったことによると考えられる。また、同じ経路においても道路の位置により受信状況は異なり、道路の北側で計測した Point E は衛星が遮蔽されており信号状況が悪かったが、南側で計測した Point F では衛星が遮蔽されておらず信号を受信することができた。なお、固定点における受信では Measure point A では信号損失率が 16 % 及び Measure point B では信号損失率が 15 % であり、定常的に受信することは可能である。つまり、受信環境が良いエリアでは定常的に受信することは可能である。このことから、位置における良好な衛星配置では信号を受信することは可能と考えられるが、それでも信号を受信できない期間は存在する。

4.4.4 複数の準天頂衛星を利用することによる課題へのアプローチ

システムの課題として、時間と場所により変化する準天頂衛星の配置による受信性への影響について、プーケットの市街地エリアでの受信実験から、時間場所により防災メッセージを受信できない期間が存在することが明らかとなった。アジア・オセアニア地域では、

各地点で準天頂衛星を複数衛星見ることが可能であるため、防災情報の配信に準天頂衛星を複数台利用する方法を提案し、課題へのアプローチを試みる。

複数衛星の使用は情報の確達性及び即時性を向上することが可能であるが、それぞれを向上させるための複数衛星の使用方法が異なる。例えば、4衛星から同じ情報を配信することは確達性を向上することに対して有効であるが、情報の伝送容量は1衛星から配信する場合と同じであり、情報の即時性は向上しない。このような使用方法は情報の配信エリアが狭く、即時性を重要視しない防災情報の伝達においては有効であると考えるが、津波災害のように広域のエリアに対して早く情報を伝達するためには不向きである。一方、4衛星全てから別々の情報を配信することは即時性を向上することが可能であるが、低仰角の衛星は建物等の影響を受ける可能性が高いため、確達性の観点から問題である。そこで各地点での準天頂衛星の衛星配置をシミュレーションにより算出し、複数衛星の利用方法の検討を行う。

準天頂衛星は日本の上空を1つの衛星が24時間以上配置するための軌道を描いており、日本を中心に最適化された軌道を描いている。そこで、日本を中心として、赤道に位置しているインドネシアのバリ、赤道を挟んだ南側に位置しているオーストラリアのメルボルン、日本より東側の赤道近くに位置しているタイのプーケット、日本より西側の赤道近くに位置しているグアムの5地点について衛星配置及び仰角の時間変化を算出した。衛星の配置については、表 4-12 及び表 4-13 に示す準天頂衛星の軌道要素を使用し、Rtklib を使用して算出した。なお、衛星軌道はエポックを 2025 年 9 月 1 日 0 時 00 分 00 秒（UTC）のノミナル値を使用している。

表 4-12 準天頂軌道パラメータ

軌道パラメータ	ノミナル値
軌道長半径	42614 km
離心率	0.075
軌道傾斜角	40 度
近地点引数	270 度
昇交点赤経	Block 1-Q: 117 度 Block 2-Q: 117 ± 130 度
中心経度	136 度

(EPOCH:2015.9.1 0:00:00)

表 4-13 静止軌道パラメータ

軌道パラメータ	ノミナル値
経度	E 127 度
緯度	0 度

(EPOCH:2015.9.1 0:00:00)

図 4-11 に 5 地点における衛星配置及び図 4-12 に仰角の 24 時間における時間変化について示す。また、図 4-13 には、図 4-12 の仰角の時間変化を各地点の各時間において QZO 衛星の仰角が最も高い衛星の仰角、2 番目に高い衛星の仰角及び GEO 衛星の仰角の時間変化に変更した図を示す。

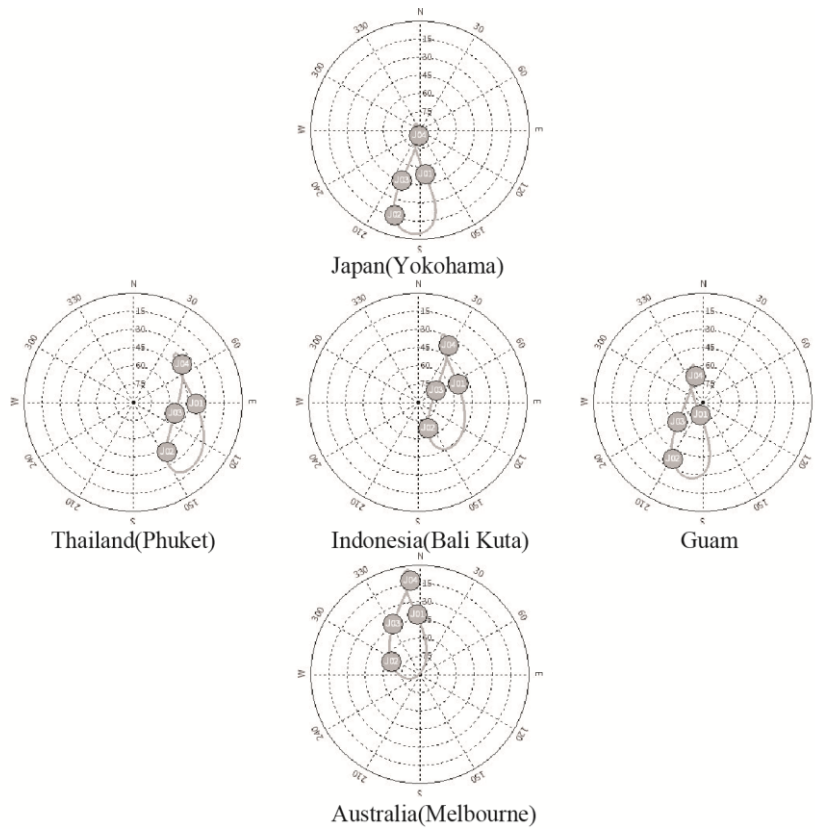


図 4-11 各地点における衛星配置

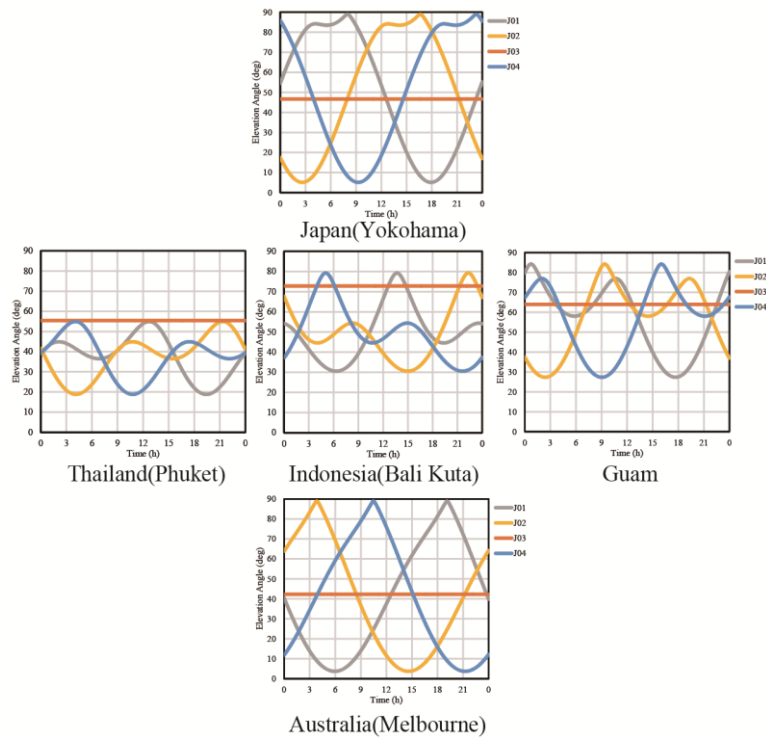


図 4-12 各地点における準天頂衛星の仰角の時間変化

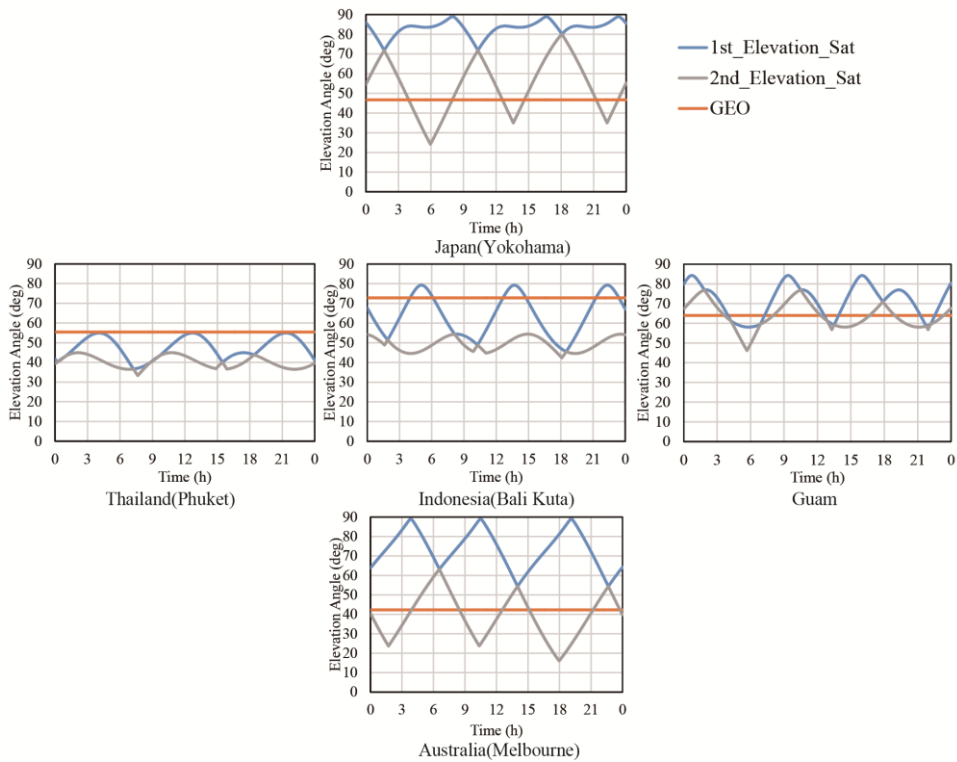


図 4-13 各地点における準天頂衛星の仰角の時間変化（仰角順）

衛星の配置の検討結果から、横浜及びメルボルンではその時刻で最も仰角の高い QZO 衛星が常に高い仰角に配置されているため、周囲の建物等からの遮蔽される可能性は低く、防災メッセージが受信可能である。これについては、3.2.1.3 に示す横浜における受信実験結果から高層ビルが密集したエリアにおける建物の側などの一部の地域を除いて、防災メッセージが概ね受信可能なことを確認した。このため、このような高仰角の衛星が確保されているエリア及び時間帯では、他の衛星を利用した確達性の確保は必要ないとする。また、両エリアでは時間により 2 衛星が高仰角になる時間も存在する。そこで、防災メッセージの配信を一定仰角以上の配置にある衛星を利用することで、防災メッセージの配信速度を向上し情報の即時性の向上を図る。なお、2 衛星のうちどちらを使用するかについては、配信スケジュール上配信待ちが少ない衛星を利用することとし、配信待数が同じ場合については、ランダムで選択することとする。使用衛星を決める仰角の設定値としては、日本ではノミナル値において準天頂衛星 1 機が常に仰角 70 度以上に配置していることから、70 度がひとつの目安となる。しかしながら仰角 70 度を一定仰角の基準にした場合、

2 衛星が使用可能な時間帯が著しく限定されるため即時性の効果としては低い。このため、即時性の効果を上げるため基準となる仰角を下げる必要がある。しかしながら、日本では高層の建物がある地域での受信も行う。例えば図 4-14 は高層ビルが密集する横浜地域における天空写真及び準天頂衛星の衛星配置を重ね合わせた写真であるが、この図が示すように受信地点によっては仰角 60 度以上を遮蔽する高層ビルもあり、3.2.1.3 から高仰角における受信実験において受信できない地点が存在することから、一定仰角の基準値については各地域の受信状況を踏まえた上で慎重に設定する必要がある。

ユーザーから一定仰角以下の衛星しか見えない場合、衛星が建物等により遮蔽される可能性が高くなる。しかしながら、図 4-11 のプーケットやバリの衛星配置から各衛星は均等に配置されているため、これらの衛星から同じ情報を提供することにより、受信地点の環境によるものの、4 衛星のうち遮蔽されない衛星から情報を受信することも可能となる。これにより、建物等により遮蔽される確率が下がり、情報の確達性を向上することが可能である。

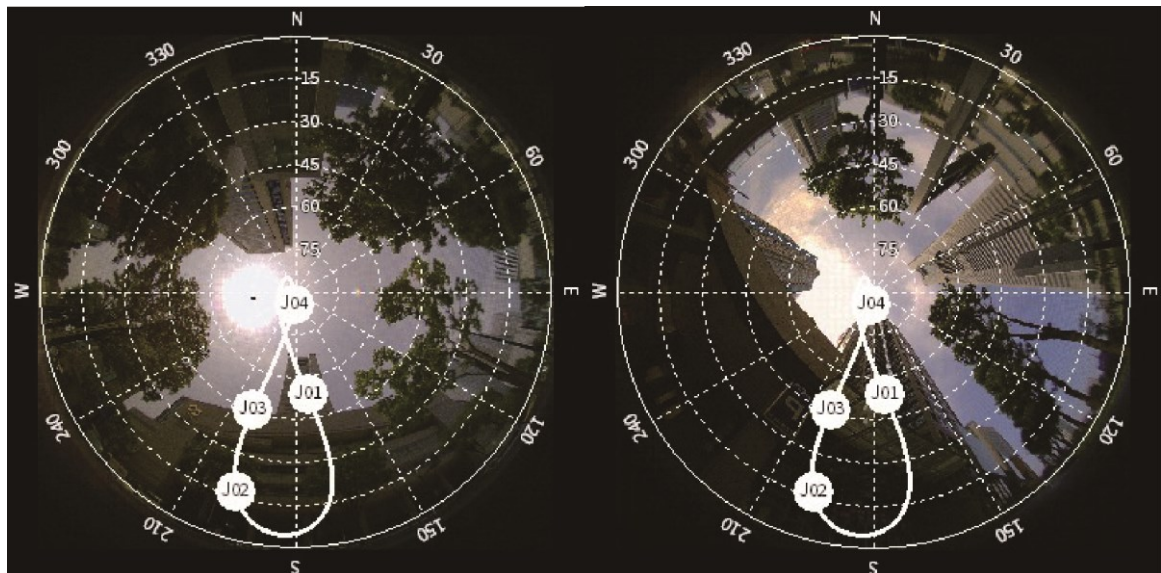


図 4-14 横浜における天空写真及び衛星配置 (EPOCH:2015.9.1 0:00:00)

このようなことから、本研究では基準となる仰角を設定し、高仰角に衛星が見えるエリアでは設定仰角以上の衛星から情報を配信することで即時性を向上し、設定仰角以下のエリアでは、複数の衛星から同時に情報を配信することで確達性の向上を図る。しかしながら、この方法では、即時性の向上が設定仰角以上のエリアに依存してしまい、設定仰角の設定値によりそのエリア数は変動するものの、確達性に重点を置いた手法となる。

そこで、設定仰角以下のエリアにおいても、即時性を向上させる方法として、GEO 衛星と QZO 衛星から別々の情報を配信する手法を提案する。この方法は本システムで特に対象としているインド洋津波等の広域にわたる津波災害が発生する可能性がある地域が赤道付近に集中しており、さらに GEO 衛星が赤道上に配置されていることから、赤道付近においては GEO 衛星が高仰角に配置されている。そこで、この GEO 衛星と QZO 衛星で情報を分割することにより即時性を向上し、衛星配置が時間とともに変化する QZO 衛星からは同じ情報を配信することにより、建物等により遮蔽される確率を下げることで情報の確達性を向上する。なお、情報の分割方法としては、本研究で提案している配信スケジュールにおける繰り返し数を GEO 衛星及び QZO 衛星に割り当てることとする。例えば、繰り返し数を 4 回に設定している場合、GEO 衛星から 2 回配信し、QZO 衛星から 2 回配信することとする。また、配信スケジュールの中でメッセージ順をランダムとすることで、GEO 及び QZO 衛星から同じ防災メッセージを異なる衛星から異なるタイミングで配信する。

本手法の使用の可否について防災メッセージの受信性の観点から評価を行う必要があるが、現在準天頂衛星は初号機のみちびき 1 機しか運用されていないため、実際に複数衛星から信号を受信することはできない。そこで、天空画像を撮影し衛星配置と重ね合わせることで、受信状況の予測とすることで評価を行うこととした。そこで、本論文で検討したエリアの中から仰角の低いタイのプーケットを対象として評価を行う。

天空画像は魚眼カメラ（オプト社製 NM33-N）を使用し撮影し、Rtklib を使用して衛星配置と天空画像を重ね合わせることで、建物等による衛星の遮蔽の有無を評価し信号の受信状況の予測とした。信号の受信状況の予測は、天空画像上で衛星が建物等に遮蔽されず確認できる場合を受信可能であると判断した。また、QZO 衛星については、時間とともに衛星配置が変化するため、24 時間において 3 衛星のうち 1 機以上の衛星が建物等に遮

蔽されず確認できる場合を受信可能であると判断した。

図 4-15 にタイのプーケットにおける天空画像から予測される準天頂衛星の信号取得状況を示す。各プロット地点は天空画像を取得したポイントを示しており、プロットの色によりその地点における準天頂衛星からの信号の取得予測状況を示している。青のプロットは GEO 衛星が建物から遮蔽されず信号を受信可能と予測されることを示しており、緑のプロットは 24 時間において QZO 3 衛星の 1 機以上から信号を受信可能と予測されることを示している。黒のプロットは、GEO 1 機以上かつ QZO 1 機以上から信号を受信可能と予測されることを示している。なお、赤のプロットは 24 時間のどこかにおいて全ての衛星が建物等に遮蔽されて信号を受信できない時間があると予測されることを示している。図 4-16 には、それぞれの衛星配置における天空画像例を示す。



図 4-15 プーケットにおける天空画像からの準天頂衛星防災メッセージ取得予測図

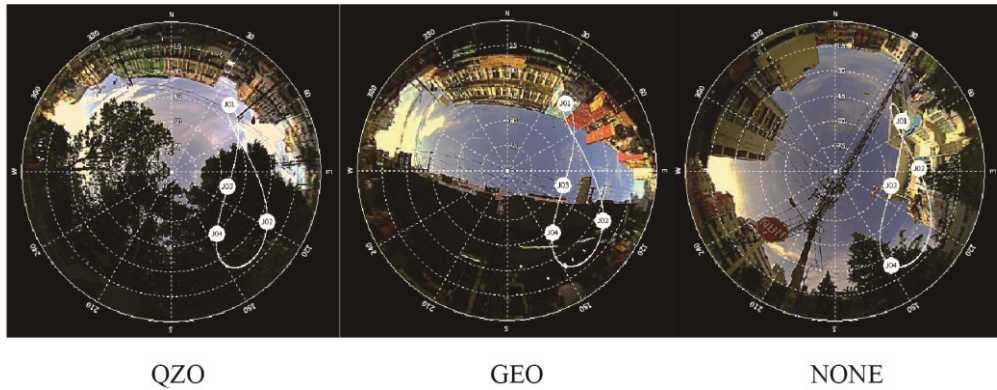


図 4-16 プーケットにおける天空画像からの準天頂衛星防災メッセージ取得予測図
(衛星配置例)

図 4-15 の信号取得予測図から、プーケットでは多くの地点において 4 機の衛星のうち 1 機以上から防災メッセージが受信可能であると予測される。このことから、多くの場所で 4 機による衛星の確達性の向上手法が使用可能であり本手法は有効であるといえる。しかしながら、どの衛星からも防災メッセージを受信できない場所は存在している。短距離の移動により改善されるエリアも存在するが、広範囲に渡って受信できないエリアについては、高所に GNSS 受信機をとりつけたスピーカーによる情報の提供や安定的に受信可能な場所にアンテナを取り付け、信号を再放射する方法により補足することが必要と考えられる。

また、GEO 衛星かつ QZO 3 衛星 1 機以上から多くの地点で防災メッセージは受信可能であると予測される。しかしながら、QZO 及び GEO のどちらかしか受信できない地点も存在してしまうため、そのような場所では受信確率の低下が予測される。このことから、特定エリアでの受信確率の低下を許容し即時性に重点を置く場合については、GEO 及び QZO 衛星により即時性及び確達性を向上させる手法は有効であると考えられる。またこの手法でも、上記の手法と同様に全く受信できないエリアについては、スピーカーや信号の再放射などの方法による補足は必要である。

このことから、本研究で提案した仰角が一定以下における複数衛星の使用手法について、一部取得できないエリアにおける補正は必要なものの、4 機による衛星の確達性の向上手法は防災メッセージの受信性の観点から使用可能であり、また、GEO 及び QZO 衛星によ

り即時性及び確達性を向上させる手法は、一部両方の衛星から受信できないエリアにおける受信確率の低下を許容し即時性に重点を置く場合については使用可能である。

5章 研究全体に対する考察

5.1 日本国内を対象とした本システムに対する考察

5.1.1 システムの有効性の評価

3章では情報空白期における防災情報配信を補完するとともにユーザーの避難支援を行う、日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計し、その有効性を評価することを目的として実施した。

準天頂衛星を利用した防災情報配信システムでは、防災情報の伝達手段として準天頂衛星システムを、位置情報の提供手段としてGNSSを利用することを前提としている。本研究では、目的を満足する準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計するため、システムを構成する送信部のうち防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム及び受信部の各サブシステムの設計を実施した。また、情報空白期を想定した地震・津波災害時に利用者が本システムを使用して避難する際のシステムの有効性について明らかにするため、設計した各サブシステムについてのプロトタイプを作成した。なお、プロトタイプについては、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムは、設計したメッセージフォーマットを使用した配信スケジュールにより、実験時のシナリオに応じた時間ごとに配信するメッセージを予め作成し、実験局を通して準天頂衛星から配信した。また、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム及び防災情報取得部では、簡易的な防災メッセージを使用するとともに、測位衛星を利用した位置情報の利用については未実装とした。防災メッセージ・位置情報取得部は、システム要求を満足する既存のGNSS受信機を使用し、外部端末として使用した。避難支援情報提供サブシステムについては、地図情報及び津波浸水深情報についてはオンラインで情報の表示を行うこととした。このように作成したプロトタイプについては、設計した一部の機能は未実装であるものの、利用者に対して提供する情報及び利用方法について遜色はない。

そこで、地震・津波災害時の情報空白期を想定し、プロトタイプを使用した避難実証実験を利用者に対して実施し、本システムの有効性について評価した。特に、本システムではユーザーの避難を支援することを目的としており、単に防災情報を伝達するだけではなく、避難時において利用者の避難を支援する必要がある。システムの有効性の評価につい

では、ユーザー要求に対して、ヒアリング及び行動分析により、その妥当性の確認を実施した。妥当性の確認は、情報の受信性、情報の速報性、情報の信頼性、行動の誘発性、エリア配信性、避難支援情報提供サブシステムの6項目について実施した。特に情報の受信性については、実験結果から、優先度の高い津波警報について利用者がその情報を受信・確認していることを確認し、ヒアリング結果からも情報を入手可能であることから、その妥当性を確認した。行動の誘発性については、システムにより取得した防災情報に基づいて利用者が避難を開始していること及び避難行動中に情報の変化に対して、それに対応した避難行動を実施していることを確認したことから、システムの使用が定性的に効果を示すことを確認したものの、行動の誘発性を考える上では、システムがユーザーへ防災情報を提供してから、実際にユーザーが避難行動に移すまでのギャップの低減などを、システムにおける防災情報の表現及び通知がユーザーに対して与える影響などの検討を行う必要がある。エリア配信性については、避難時において自身のエリアに応じた情報の提供について、有効であるという回答を得た。このようなことから、情報空白期における防災情報配信を補完するとともにユーザーの避難支援を行う、日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計し、概ねその有効性を確認した。

5.1.2 実用化に向けて

5.1.2.1 システム全体について

本研究では、妥当性確認の避難実証実験において、被験者として携帯電話を情報収集の手段として良く利用する世代である20-30代を中心に実施した。被験者は携帯電話を普段から使い慣れており、端末自体の操作及び端末から情報を取得することへの抵抗はあまりなく、限られた人数及び属性であるものの、システムの有効性を確認する上での第一段階として、意味のある結果を得ることができた。しかしながら、今後実用化を図る上では、多くの属性、多くのユーザーが使用することを考える必要があるため、子供、高齢者、外国人など多くの属性及び多くの人に対する実験データを取得し、システムの改善を図る必要がある。

情報の速報性について、今回の実験においては、タイムラグ自体に問題を感じる被験者がいなかったが、バースト欠落が大きく発生した場合についてはその影響が発生する可能

性もある。実用を考える上では、これらのタイムラグがどの程度影響してくるのか、バースト欠落の影響と合わせて、多くのシチュエーションにより把握する必要がある。

行動の誘発性については、本研究では避難実証実験における行動分析結果及びヒアリング結果から、システムの仕様が避難行動の誘発に定性的に効果があることを確認した。実用を考える上では、より避難行動を誘発するシステムを目指す必要がある。特に、避難行動の誘発を考える上では、システムがユーザーへ防災情報を提供してから、実際にユーザーが避難行動に移すまでのギャップをいかに埋めるかが重要となる。このため、システムにおける防災情報の表現及び通知等がユーザーに与える影響、更新した情報を見落とす確率など、本システムを使用する際に避難行動に移すまでのギャップを、多くのユーザーの行動を分析し、システムを使用しても避難に移さないユーザーの行動などから明らかにし、それを埋めるための改善を行う必要がある。

5.1.2.2 防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステム

本研究のプロトタイプでは、シナリオに基づいて提供する防災情報について、予め防災メッセージに変換及びスケジューリングを行い、そのスケジューリングに基づいて準天頂衛星に送信を行った。実用時には、リアルタイム変換及び自動変換の実装が必要となるため、防災情報を気象庁から受信し、マスターコントロール局に送信するまでの一連の流れについて確認する必要がある。また、配信する防災情報については、本研究では地震・津波災害を対象とし、気象庁から発表される警報を対象に検討を行った。実用上他の災害を想定した場合には、気象庁以外の防災機関からの情報を収集することも想定する必要がある。この場合には、各防災情報について、情報元を考慮した情報の優先度を検討する必要がある。このように、優先度の決定を含めたスケジューリングを実施することから、本サブシステムについては、運用機関を決定する必要がある。メッセージフォーマット及びスケジューリング方法を決めることが、実用化を進めるに辺り重要となる。

配信スケジュールについては、信号損失率 50%の仮定から繰り返し数 5 回を導き避難実証実験を行った。しかしながら、ランダム損失だけを考慮した信号損失率は 50%より低く見積もることが可能と考えられるため、実用時には多くのエリアでの実験結果から適切な繰り返し数を設定することが必要である。

5.1.2.3 防災メッセージ・位置情報取得部

本システムは、GNSS 受信機能により防災情報を受信するため、端末の受信機能を機能させておく必要がある。しかしながら、GNSS 機能は消費電力の関係から、常に機能を切っているユーザーも多い。地震発生時にユーザー自身が受信機能を機能させることで、防災情報を取得可能となる。しかしながら、全てのユーザーが使用方法を理解しているとは限らないことから、情報空白が発生する前に配信される緊急地震速報で強制的に受信機能を機能させるなどの方法が必要である。

5.1.2.4 防災情報取得部

エリア配信性について、今回の避難実証実験では、被験者はエリア間の移動は生じなかった。しかしながら、実用時においては、エリアの境界にいるユーザーも存在し、状況に応じては、エリア間をまたいで避難することも考えられる。このようなエリアの境界にいるユーザーについては、ユーザー自身の判断を促すため、隣接するエリアの情報を併せて提供が必要であると考えられる。この場合に、隣接するエリアの情報を提供する、オーバーラップするエリアの領域について検討する必要がある。また、隣接するエリアについても、場所によっては複数地点が重なり合う領域も考えられ、避難時に許容されるエリア数の情報等についても、検討を行う必要がある。

本システムでは、エリア配信については、ユーザーの位置情報からユーザーのいるエリアを決定する。しかしながら、防災メッセージは日本国内で 3 機以上の体制において、常に 1 機以上が天頂に配置されている準天頂衛星からを受信するため、防災メッセージは受信できるものの、4 機以上の GNSS から信号を受信する必要がある位置情報は取得出来ないという状況が発生する可能性はある。現時点では、このような状況に対しては、全てのエリアの情報を提供することを想定しているが、その際の影響についての検討は未実施である。また、そのような位置情報が不明な場合に備え、ユーザー自身が位置を申告し、情報の表示の絞込みを行う方法も考えられるため、これらについての検討を行う必要がある。

本研究では、避難支援情報提供サブシステムの設計を行ったが、避難支援、防災に関する既存のコンテンツは存在する。実用化を考える上で、これら既存のコンテンツを使う利

用者に対しても、情報空白が発生した際に、本システムからこれら既存のコンテンツに対して情報を提供する必要がある。このため、既存のコンテンツと防災情報取得部の接続について、今後対応する必要がある。

5.1.2.5 防災情報提供部

情報の受信性の結果から、被験者の中には情報に応じて、端末側で情報を受信しているものの、被験者自身が情報の確認を行わない場合があった。これらについては、避難行動を優先した結果と考えられるが、重要な情報を見落とす可能性もあるため、端末のユーザビリティや情報のアクセスの容易性などを検討する必要がある。また、今回の実験においては、人数や属性が限定的であるため、情報を確認しない状況の把握及び確認しなかった場合についての影響なども検討していく必要がある。

プロトタイプでは、準天頂衛星から受信した防災情報について、端末が初めて受信した際にユーザーに通知する。避難実証実験においては、使用した地震・津波災害のシナリオにおいて頻繁に情報が更新されたため、ユーザーは情報が途切れたという感覚もなく、また防災情報受信時の端末からの通知に気がつかない場合についても、他の情報の確認時に再度確認することができた。しかしながら、実際の災害によっては、第1報から次の情報の配信まで間が空くケースも考えられ、このような場合、ユーザーは防災情報の通知に気がつかないことも考えられる。このため、ユーザーが情報を確認していない場合については、一定時間ごとに確認を促す仕組みや、取得から一定期間通過した情報についても、避難行動を誘発する観点から再通知する仕組みを検討する必要がある。特に、ヒアリング結果からも、情報が頻繁に来る場合については煩わしさを感じるという意見もあり、再通知間隔については、間隔が短すぎる場合については逆効果になることや、避難行動を阻害する可能性が考えられ、行動の誘発性を保つ適切な間隔の設定を検討する必要がある。

エリア配信については、避難実証実験から緊急時については自分のいるエリアの情報があれば十分であるという回答を得たが、避難終了後、一定の時間が経過した状況においては表示方法の変更等により、ユーザーのいるエリア外の情報を確認することが可能な機能の追加を検討する必要がある。

5.1.2.6 避難支援情報提供サブシステム

避難実証実験で使用した避難支援情報提供サブシステムは、実用上は情報空白期での使用を想定しているためオフラインでの使用となるが、プロトタイプではオンラインで地図データ等の情報を提供した。実用上においてユーザーはオフラインで使用するため、ユーザーの自宅周辺や勤務地等の生活圏内のこれらのコンテンツに必要な情報を予め保持する必要がある。このような予め保持可能な避難所データ及び地図データに関するスマートフォンアプリケーションはすでに提供されている[73][74]。また、Google マップにおいても、予めダウンロードすることによってオフラインで表示することも可能である。しかしながら、実際に問題となるのは、生活圏外に出た際に土地勘がないエリアであり、そのようなエリアについては、予めこれらの情報をオフライン上で保持していない可能性が高い。しかしながら、情報空白期は地震災害発生後に起こるため、緊急地震速報等を受信可能なユーザーは多い。そこで、緊急地震速報発生直後から情報空白が起きる前までに自動的に必要な情報を自動的にダウンロードすることなどの対策が必要である。

津波浸水深表示について、プロトタイプについては準天頂衛星から提供される津波警報のレベルに応じて、提供するマップを変更する機能を組み込んだ。しかしながら、実際のどの警報レベルに対してどの津波浸水予測図を提供するかということについて、及びそもそも最も危険な領域のみ表示するべきか等については、今後議論を行う必要がある。

5.1.2.7 地震・津波災害以外への適用

本研究では、避難中に情報インフラが使用できなくなる可能性があり、また避難までの時間が短い災害である地震・津波災害を対象としてシステムの設計を行った。しかしながら、本システムは地震・津波災害以外においても使用可能なシステムである。特に、本研究では、災害時の情報空白期に焦点を当てているが、山間部など空間的に情報空白が発生している地域もあり、このような地域に防災情報を伝える手段としては有用である。また、地震・津波災害時に他の災害が発生しないとも限らず、複合的な災害が発生する可能性もある。このような場合を考慮すると、地震・津波災害だけでなく、その他の災害を含めた検討を行う必要がある。また、防災情報の伝達以外の使用方法も考えられる。例えば、東日本大震災時には首都圏において帰宅困難者が発生し、臨時の避難所が開設されたもの

の、停電等により情報を提供できないという問題も生じた。このような新しい避難所情報については、避難時の短時間において配信することは困難であるが、避難終了後の情報混乱期に帰宅困難者へ新しい避難所の開設を提供する場合においては、速報性が許容されるため、時間をかけて情報を提供する使い方も可能であるとする。

5.1.3 既存の防災情報配信システムとの連携

今回の研究で構築したシステムのプロトタイプは、ユーザーが所持する携帯端末への情報配信を主眼としてシステムの構築を行ったが、防災情報の伝達については、GNSS 受信機が搭載されている機器に配信することが可能である。例えば、現在 GNSS 受信機が搭載されている機器としては、カーナビゲーションや PC などがあり、これらに防災情報を配信することが可能である。また、GNSS 受信機があれば配信が可能であるため、スピーカー、デジタルサイネージ、デジタル道路標識などにも情報を配信することが可能である。特に、低仰角地域や高層ビル等、携帯端末による信号の取得が難しいエリアにおいては、信号を安定して受信することが可能な高所に受信機を設置し、スピーカーから情報を提供することで、携帯端末による情報の取得を音声により補足することが可能である。

本研究では、避難支援情報の提供も念頭に入れていたため、ユーザーが所持する携帯端末への情報提供を想定してシステムの設計を実施した。そこで、スピーカー等の既存の防災情報配信システムとの連携を考慮した場合、FFBD は図 5-1 のように記載することができる。特に、本システムで考慮していた避難支援情報を提供する機能がなくなり、防災情報を各システムへ提供することとなる。図では、防災情報通知ログ表示まで含めているが、システムによっては使用しない場合もある。なお、本システムでは、携帯端末への提供及び情報空白を想定していたため、受信部に届いていたかを送信部が把握することができないため、受信部から送信部へのフィードバックは考慮しなかった。しかしながら、情報の多重化等で情報空白期以外での使用も考慮した場合、受信部で受信した情報について送信部にフィードバックすることで、不具合発生時に配信スケジュールリングの変更などを行うことも可能なため、送信部にモニタリング機能を付加し、受信部で防災メッセージの取得状況を伝達することも今後考えていく必要がある。

なお、本システムで設計したメッセージフォーマットにおいても定義している様に、メ

メッセージには、それぞれにコードを割り当てている。そこで、災害発生時にモードを切り替えることが必要な器材に対して、準天頂衛星から直接制御することが可能である。例えば、スピーカー等によるサイレン、水門の開閉、自動販売機等の災害時モードへの切り替え等が考えられる。また、システムの信頼性が確保することが可能であれば、鉄道や自動車などの緊急停止等にも利用できる可能性がある。

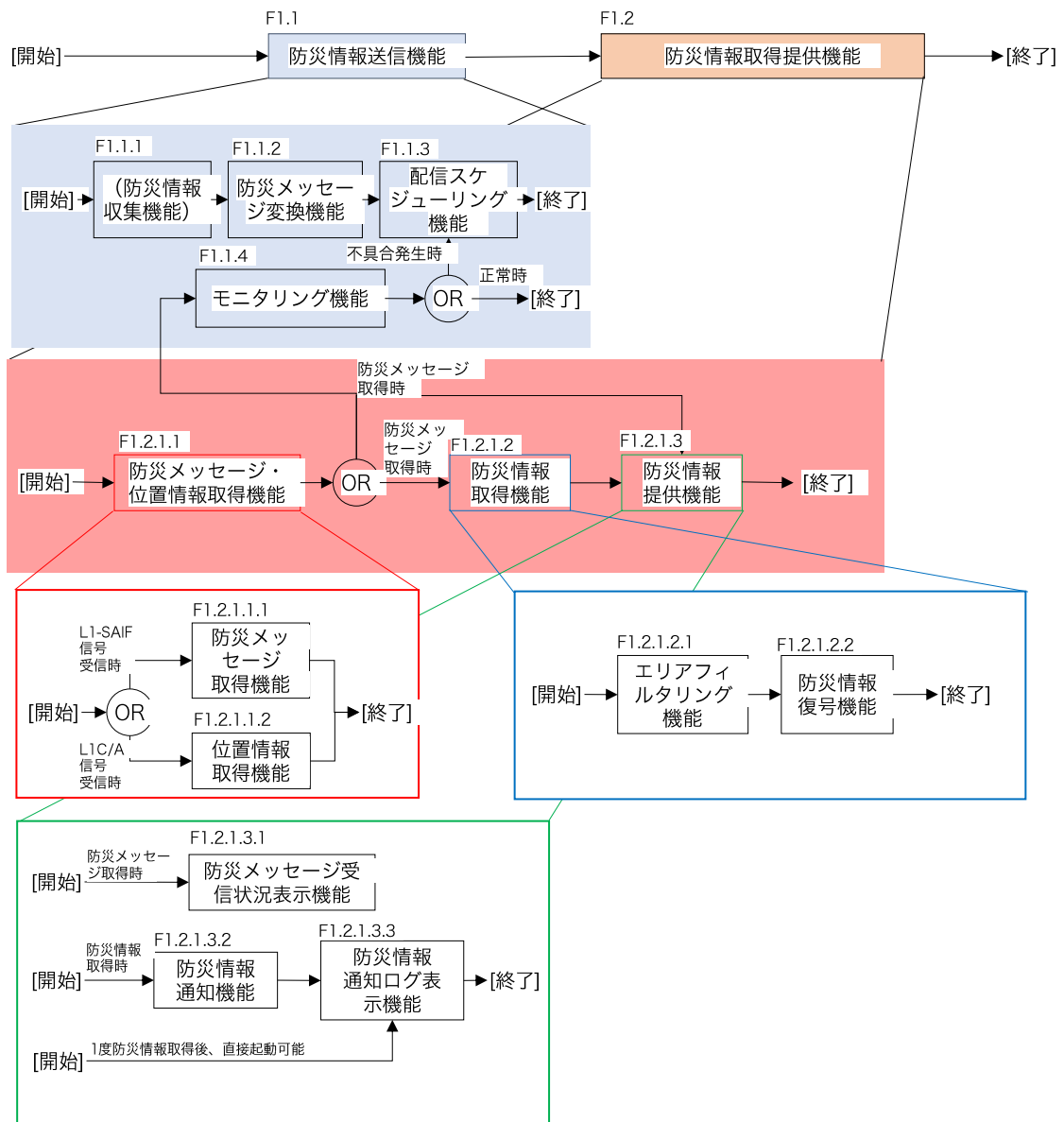


図 5-1 既存の防災情報配信システムとの接続を考慮した FFBD

5.1.4 屋内での利用

本システムでは、準天頂衛星からの配信を想定しているため、屋内で信号を受信することはできず、また、ビルが密集した地域などの一部の地域で信号を受信することができない。

屋外であればシステムを補足する方法として、受信環境が確保できるエリアにスピーカーを設置し補足的に情報を提供する方法や、アンテナを高所に設置し、再放射等によりユーザーの端末に情報を提供する方法等がある。また、ビルによる遮蔽はビルからの距離が離れるほど改善される。このため歩道に対して車道は受信環境が良く、走行している車では防災情報を受信できる可能性がある。また、ユーザーも位置に応じて受信状況が異なることから、防災情報を受信できたユーザー、車両、器材等において、MANET などによる情報共有により、情報の欠落を防ぐ等の対策を行う必要がある。

屋内については、屋外で信号を受信し、内部は別の情報提供経路で情報を提供する方法もあるが、屋内測位技術である IMES を使用し、IMES のネットワーク化を行うことにより、受信した防災メッセージをそのまま屋内に提供することが可能である。

5.2 複数国を対象とした本システムに対する考察

5.2.1 システムの有効性の評価

4 章では、日本国内を対象として設計した準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを日本国外で複数国を対象に使用する際の課題を明らかにし、複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計し、その有効性を評価することを目的として実施した。

日本国外、特にアジアでの使用は日本国内と異なり、インド洋大津波に見られるように、複数国に被害をもたらす大規模な災害が発生する可能性があること、準天頂衛星は日本での使用を念頭に設計されているため、日本国外では衛星の配置が時間と場所により変化するため、その受信環境の変化の影響があることなどの違いがある。本研究では、日本国内を対象に構築した本システムを日本以外の複数国を対象に使用する際の課題を明らかにするため、複数国を対象とした本システムについて配信性及び受信性の観点から検討を行った。その結果、低仰角エリアであるプーケットにおける受信実験結果から受信性の改善が

必要と判断し、準天頂衛星の複数衛星の使用方法を提案した。この使用方法の実現可能性を評価するため、プーケットにおける主要箇所の天空画像及び衛星配置から受信性の予測を行い、複数衛星の使用により受信性が改善される可能性があり、低仰角エリアにおいて複数衛星を利用した本手法が使用可能であることを示した。

5.2.2 実用化に向けて

5.2.2.1 アジア各地域を考慮したシステムの検討

本研究では、日本国外の複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムを設計するにあたり、まず日本国内を対象とした防災情報配信システムのサービスを前提として検討を行った。特に、日本国内では総務省により携帯電話による緊急通報時に GNSS 測位による位置情報の提供が求められていることから[75]、多くの携帯電話において GNSS 機能が搭載されている。しかしながら、アジア地域における携帯電話の普及率は、表 5-1 に示す通り、日本と同等であるものの、その全ての携帯電話において GNSS 機能が搭載されているわけではない。スマートフォンについては GNSS 機能が搭載されているが、その普及率は、タイ、マレーシア等では3割を越えているものの、インドネシア、インドでは、2割を切っている。将来的には、この普及率は増加すると予測されるが、地域によっては全てのユーザーに対して普及しない可能性もあり、全てのエリアにおいて GNSS 機能付携帯電話のみに対して防災情報を伝達するのではなく、他の GNSS 受信機により防災情報を受信し、ユーザーに対して伝達する仕組みにより補完する方法も検討する必要がある。例えば、スピーカー等に GNSS 受信機を搭載しサイレンを鳴らす仕組みも考えられる。また、地域による特色等も考えられ、例えば、タイ東北部山間・農村地域において、災害情報伝達手段として SMS の導入を検討した際に、この地域の住民に対して、情報を一斉配信することで住民に混乱を与えてしまう可能性があることから、SMS により直接住民へ伝達することよりも、村の代表者へ伝達することの方が効果的であるなどの報告もある[76]。このようなことから、実用時においてアジアの各地域で本システムを導入することを検討する上で、GNSS 受信機からユーザーに対して防災情報を提供する手段に対して、各地域の特色を把握した上で検討する必要がある。

表 5-1 アジアの主要国における携帯電話及びスマートフォン普及率

国・地域	携帯電話普及率 (2012年) [77]	スマートフォン普及率 (2013年)[78][79]
日本	108.73 %	54.7 %
韓国	110.4 %	73.0 %
中華人民共和国	81.3 %	46.9 %
台湾	126.5 %	50.8 %
香港	227.9 %	62.8 %
タイ	120.3 %	31.0 %
マレーシア	140.9 %	34.5 %
シンガポール	153.4 %	71.7 %
インドネシア	115.2 %	14.0 %
ベトナム	149.4 %	19.7 %
フィリピン	106.8 %	38.7 %
インド	68.7 %	12.8 %

5.2.2.2 利用者を想定した避難実証実験

4章では、複数国を対象としたシステム設計及びシステムの課題に対する解決方法を検討した。複数衛星の利用手法については、天空画像を使用した衛星配置の確認により使用性の評価を実施した。しかしながら、実用化に向けては、実際の複数衛星運用時における受信確認を行う必要がある。また、本研究では避難ルートに沿って防災メッセージの受信実験により、受信性の把握を行ったものの、日本国内を対象としたシステムの評価で実施したような利用者を想定した避難実証実験は行っていない。特に、海外の利用者を想定した場合には、それぞれの地域の特性を把握する必要があり、実用化を考える上では、個人の携帯端末に対する個別の情報提供以外の提供方法の検討及び携帯端末についても、避難支援情報提供サブシステムのカスタマイズなど、地域の利用ニーズを考慮した検討を行っていくとともに、複数衛星が運用され受信性を満足する状況において、利用者を想定した

避難実証実験を行っていく必要がある。

5.2.2.3 サービスエリア

本研究では、サービスエリアとして 1 衛星の運用において、1 日のうち QZS の仰角が 30 度以上ある時間帯が 1 時間以上ある国をサービスエリアとして設定した。これは、準天頂衛星の信号を配信できる範囲で最大限のエリア数を検討すること、及び後述する EGNOS との相互運用性から、準天頂衛星が仰角 30 度以下の時間帯については EGNOS から配信することを考慮に入れるため、このように設定した。実用時においては、このサービスエリアの設定についても、再度検討する必要がある。特にサービスの保証という観点で考えた場合に、24 時間確実に QZS から情報を提供できるエリアのみをサービス提供エリアとして設定すべきと考えることもできる。逆に、他の防災情報提供手段との組み合わせも念頭に入れ、他の手段の補強としての使用も考えるのであれば、わずかな時間ながら情報を提供できるのであれば、提供すべきという考え方もありうる。また、本研究でサービスエリアの判断基準の一つとして、一律に決定した仰角 30 度についても、受信エリアの環境により信号を受信可能として保障している仰角は異なってくると考えられるため、実用時にはそれぞれの場所におけるデータを取得する必要がある。

また、本研究では、エリア数に対する検討も実施したが、準天頂衛星を利用した防災情報配信のエリア数に対する能力から、配信可能エリア数を決定し、サービスエリアを決定する方法も考えられる。

サービスエリアにおけるエリアの分割については、今回はインド洋津波で設定されている CFZ に対する配信を検討した。しがしながら、日本国内においては、津波警報など気象庁の区分において配信することが決められているものの、日本国外においては、本システムのように国をまたいで情報を配信するという枠組みの中で、現時点ではそのような制約はない。特に、津波の被害については空間的に連続しているものと考えられるため、津波シミュレーション等で多くのケースを実施することによって、同じ被害を示すエリアを明らかにすることが可能と考えられる。このため、全てのエリアを CFZ で分割するのではなく、その同じ被害を示すエリアでエリアを再定義することにより、システムに対しての配信エリアの最適化を図ることも今後必要である。

5.2.2.4 配信スケジュール

本システムのプロトタイプでは、配信スケジュールの検討において、情報の種類に対して優先度を設定したが、同じ種類の情報においてエリア毎の優先度は考慮しなかった。しかしながら、震源位置に近いエリアなど津波到達時刻が早いエリアほど迅速に情報を伝達する必要があり、そのようなエリアに対する防災情報の優先度をつけることができれば、より効果的な配信が期待できる。また、インド洋津波警報システムでは RTSP 毎に情報の発表を行っており、各エリアに対して発表される情報は RTSP により質や精度が異なる。このため、エリア毎に提供される RTSP の情報の優先度を設定することで、より精度の高い情報の提供が期待できる。これらの方法については、1 メッセージ中に多くのエリアの情報を含みかつ予めエリア領域を規定しているエリアフラグ方式の配信では困難であるが、エリアコード方式の配信では、1 メッセージで配信するエリアの組み合わせを自由に決めることができるため、優先度の高いエリアの情報をまとめて配信することが可能である。特にエリアコード方式は配信する情報量が多く配信に時間がかかるため、津波到達時間が早い地域等迅速に情報を提供する必要がある際に有効であり、今後検討を進めていく必要がある。

また、この配信スケジュールについては、防災メッセージ変換・スケジューリングサブシステムにおいて実施するが、これについては、実施する機関の設置が必要である。特に、スケジューリングについては、配信する警報についての優先度を一括で行う必要があるため、各国に設置するのではなく、一元的に実施することが望ましい。ひとつの方法としては、日本で一元化するということもあるが、アジア地域への防災情報の配信であれば、アジア地域に実施機関を設置する方法もある。特に、2011 年にジャカルタに設置された AHA センター（ASEAN Coordinating Centre for Humanitarian Assistance, ASEAN 防災人道支援調整センター）は、ASEAN 地域の防災拠点としての機能が想定されているため、ここを用いて実施するということも考えられる。

また、今回のプロトタイプでは、優先度をシステムとして決定したが、実際にどのような情報の優先度を高く設定するかについては、特に複数国を対象とした本システムでは重要である。この優先度の決定に関わる重要なステークホルダとしては、NTWCs, RTSP, 上述したサービス運用機関などが考えられ、このことから、本システムのサービス運用機関に

において、NTWCs の要求に基づいてサービス運用期間と RTSP が協議の上、予め決定する必要がある。

5.2.3 相互運用性

プロトタイプにおけるサービス対象地域の中には、QZS が常時 30 度以上ではない国もあり、時間によっては 4 機体制であっても QZS からの信号が受信できない可能性もある。しかしながら、これらの地域においては、欧州において運用されている EGNOS のカバーエリア内であり、かつ EGNOS では QZS と同様に、補強信号を利用した防災情報の提供が可能である。このようなことから、二つの衛星を相互運用することにより、QZS からの信号の受信状況が悪い場合においても、EGNOS からの信号の提供により安定した情報提供が可能と考える。また、Galileo についても同様に、防災情報の配信についての研究がなされており、図 5-2 に示す地上局の配置からもアジアの一部においては、防災情報を配信することが可能である。しかしながら、Galileo については、その地上局の位置から、東アジアに対して防災情報を配信する衛星に対して、地上局から情報をアップリンクすることが可能かどうかについては、今後検討する必要があるものの、特に東アジアなど、日本の準天頂衛星の主要なサービスエリアでは日本国内でのサービスを展開しつつ、仰角が低くなってしまう日本から西及び東に距離のある地域においては、Galileo との相互運用性を保つことで、安定した情報提供が可能と考える。

このようなことから、EGNOS 及び Galileo との相互運用への検討としてメッセージフォーマット等の標準化等を今後進めていく必要がある。

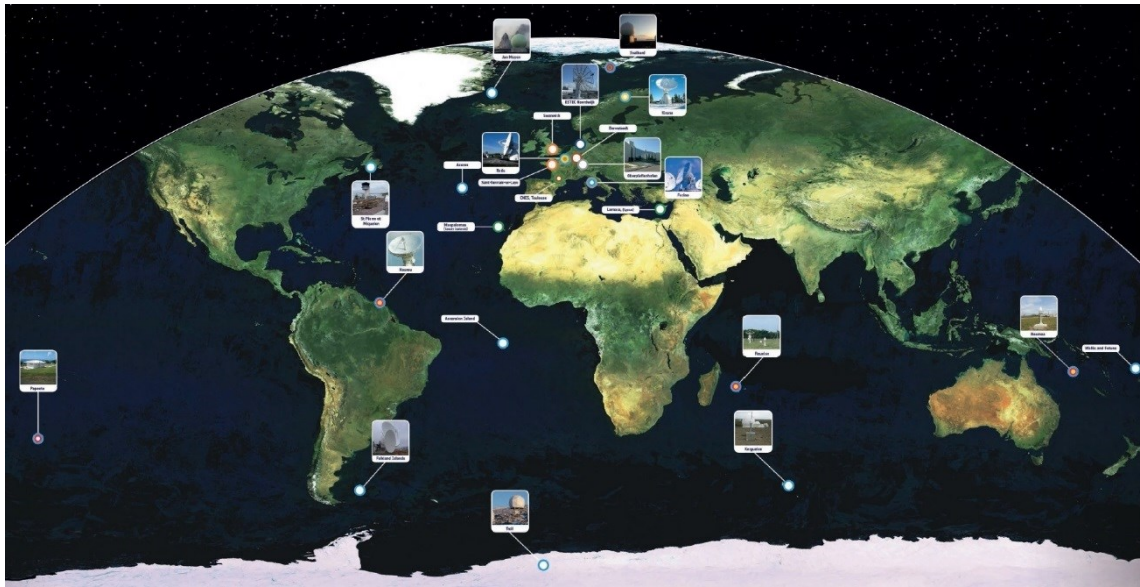


図 5-2 Galileo における地上局の配置[80]

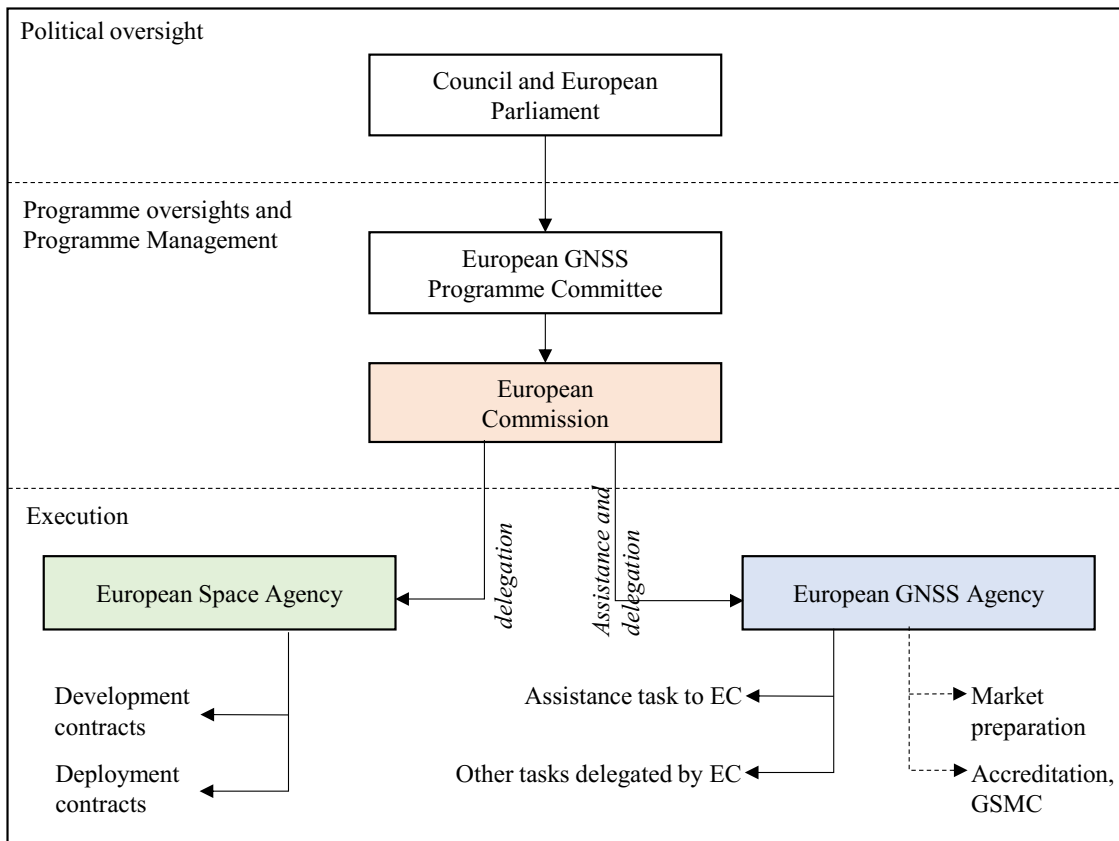


図 5-3 欧州の GNSS に関する組織 ([81]より著者が作成)

5.2.4 国際標準化に向けて

本研究で提案したメッセージフォーマットは、日本国内では気象庁防災情報 XML により提供される情報に対してメッセージフォーマットに基づき防災メッセージへの変換を行い、インド洋津波を対象とした RTSP においては、RTSP から配信される情報に対してメッセージフォーマットに基づき防災メッセージへ変換した。この気象庁防災情報 XML については、各警報の形式を統一し、システムの異なる配信方式において効率よく迅速に伝達することを目的として XML を使用した警報の伝達を実施している。また、気象庁防災情報 XML と同様の方式としてアメリカにおいては CAP (Common Alerting Protocol) に統一しており、この方式を採用している国もある。CAP については多様な警報を様々なメディアに幅広く・手際よく送信する特徴を持ち、気象庁防災情報 XML については、細分化し高度化した警報を明瞭・迅速に伝える特徴を持っている[82]。測位衛星でこれらの情報を配信する際には、情報容量の関係から全ての情報を提供することはできないため、この情報から抜粋して配信する必要があるが、どちらの方式の情報についても、フォーマットを定義して配信する必要がある。なお、測位衛星を利用した防災情報の配信では、発表された情報を配信するため、発表元が使用している情報フォーマット及び配信すべき内容に左右されるが、時刻の記載方法、緯度経度の記載など共通化できる事項については測位衛星として使用できるフォーマットの中で共通化を行うべきである。また、相互運用性の考察でも述べた通り、インド洋津波などの広域のエリア及び他の測位衛星のサービスエリアにおいて、それぞれの衛星を複数使うことはカバーエリアの拡大や速報性の観点から重要である。このため、他の測位衛星で使用するためのメッセージフォーマットの共通化なども視野に入れて検討する必要がある。

また、標準化はその形成過程の違いから、デファクト標準とデジュール標準に二分される。デファクト標準については、国内のみならずアジア・オセアニア地域への利用も含めて国際展開することが強く求められる。一方、デジュール標準としての標準化は、公的な機関での話し合いの結果、標準として合議されるため、日本単一で研究として進めていくだけは標準化されることは難しい。そこで、現在、測位衛星を利用した防災情報配信システムの研究は、第 2 章で記載した通り、欧州で EGNOS 及び Galileo を利用した研究が進められているため、欧州と連携してデジュール標準としても進めていく必要がある。図

5-3 に欧州の GNSS に関する組織について示す。欧州では、GNSS に関する施策については、European Commission が決定を行う。しかしながら、Galileo 及び EGNOS におけるサービス及び運用においての実務は、European GNSS Agency が実施するため、European GNSS Agency とのコンタクトを取り進めていく必要がある。

6章 結論

大規模災害時には情報インフラの破壊・破損等により、防災情報を伝達することのできない情報空白期が発生する可能性がある。測位衛星を利用した防災情報伝達方法は、情報インフラの影響を受けることなく、小容量でありながら必要最低限の防災情報を多くの人に届けることが可能である。本研究では、この測位衛星を利用した防災情報配信システムを実現し、大規模災害時に準天頂衛星を介して防災情報を多くのユーザーに提供し、情報空白を埋めるとともにユーザーの避難支援を行う準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの設計と評価について実施した。

そこで、本論文では準天頂衛星を介して防災情報を多くのユーザーに提供し、情報空白期における防災情報配信を補完するとともにユーザーの避難支援を行う防災情報配信システムの設計と評価について報告する。なお、設計と評価にあたっては、常に天頂上に1機以上の準天頂衛星が配置されている日本国内および、準天頂衛星の信号を配信可能なアジア・オセアニア地域のそれぞれを対象に実施した。

まず、日本国内を対象とした防災情報配信システムの設計を行い、ユーザーの評価によりシステムの有用性を示した。本研究の目的を達成するために、情報空白期における防災情報配信を補完すること、対象災害に対してカスタマイズを行うこと、測位衛星からの情報伝達のため発生する受信損失を考慮すること及びユーザーの利用までを想定することに着目したシステムの設計を行った。特に、測位衛星を使用した防災情報配信システムにおいて課題となる少ない伝送容量及び受信状況の影響を考慮し、最低限必要な情報を確実に伝達するためのメッセージフォーマット及び配信スケジュールの設計を実施した。また、設計したシステムに対しては、各機能要求に対する検証及びユーザーに対する妥当性確認を実施した。特に、対象となる災害のシナリオに即して配信性を評価した後、準天頂衛星の実信号を使用し受信性の評価を実施した。妥当性確認では、準天頂衛星の実信号を使用し、対象災害である情報空白期の地震・津波災害のシナリオに即したユーザーに対する避難実証実験を実施した。その結果、特に、情報の受信性及びエリア配信性についての妥当性を確認するとともに、行動の誘発性についてシステムの使用により定性的に効果を確認

することができた。

次に、アジア・オセアニア地域を対象とした防災情報配信システムの設計を行い、システムの有用性を示した。特にアジアでは、日本と同様に地震・津波災害の被災地域であり、また防災情報インフラが日本と比べ整備されていない地域もあり、測位衛星を利用した防災情報配信システムが必要とされている。さらに、これらの地域で発生する地震・津波災害はインド洋大津波に見られるように、複数国に影響を及ぼす広域な災害が発生する可能性がある。また、日本と異なり準天頂衛星の配置は時間と場所により変化するため、受信環境も変化する。そこで、日本国内を対象に設計した本システムを日本以外で複数国を対象に使用する際の課題を明らかにするため、複数国を対象とした本システムについて配信性及び受信性の観点から検討を行った。その結果、低仰角エリアであるプーケットにおける受信実験結果から受信性の改善が必要と判断し、準天頂衛星の複数衛星の使用方法を提案した。この使用方法の実現可能性を評価するため、プーケットにおける主要箇所の天空画像及び衛星配置から受信性の予測を行い、複数衛星の使用により受信性が改善される可能性があり、低仰角エリアにおいて複数衛星を利用した本手法が使用可能であることを示した。

これらの成果により、災害時の情報空白期における防災情報配信を補完する準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの有用性を示した。

以下、各章の結論を示す。

第 1 章「序論」では、本研究の背景として、東日本大震災時の情報インフラの破壊により生じた情報空白期に対して、衛星を利用した情報伝達手段が有効であるが、その代表例である衛星携帯電話であっても、携帯電話に対しては普及率が低いという問題があることを示し、最近の携帯電話の多くが GNSS 受信機を搭載し、測位衛星から信号を受信していることから、測位衛星を利用し GNSS 受信機に対して防災情報を配信することが、情報空白期に多くの人に防災情報を伝達し、被害を減らすことが可能であることを述べた。このことから、本研究の目的を、測位衛星を利用した防災情報配信システムを実現し、大規模災害時に準天頂衛星を介して防災情報を多くのユーザーに提供し、情報空白期における防災情報配信を補完するとともにユーザーの避難支援を行う準天頂衛星を利用した防災

情報配信システムの設計と設定し、日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの設計及び複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの設計を目標として設定した。さらに、本論文の構成について説明した。

第 2 章「測位衛星を利用した防災情報配信システム」では、既存の防災情報配信システムとして津波災害時の防災情報の流れ及び情報伝達手段の分析を行った。また、本システムが使用する衛星測位システム、特に準天頂衛星システムについて、概要及び特徴を示した。さらに、測位衛星を利用した防災情報配信システムの関連研究を示し、本研究の位置づけについて分析した。

第 3 章「日本国内を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システム」では、常に天頂上に準天頂衛星が配置されている日本国内を対象として準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの設計を行い、ユーザーの評価によりシステムの有用性を示した。本研究の目的を達成するために、情報空白期における防災情報配信を補完すること、対象災害に対してカスタマイズを行うこと、測位衛星からの情報伝達のため発生する受信損失を考慮すること及びユーザーの利用までを想定することに着目したシステムの設計を行った。また、設計したシステムに対しては、各機能要求に対する検証及びユーザーに対する妥当性確認を実施した。特に、対象となる災害のシナリオに即して配信性を評価した後、準天頂衛星の実信号を使用し受信性の評価を実施した。妥当性確認では、準天頂衛星の実信号を使用し、対象災害である情報空白期の地震・津波災害のシナリオに即したユーザーに対する避難実証実験を実施した。その結果、特に、情報の受信性及びエリア配信性についての妥当性を確認するとともに、行動の誘発性についてシステムの使用により定性的に効果を確認することができた。第 4 章「複数国を対象とした準天頂衛星を利用した防災情報配信システム」では、日本だけでなく本システムを利用するために、準天頂衛星のサービスエリアであるアジア・オセアニア地域において本システムを使用するための課題を明らかにするため、複数国を対象とした本システムについて配信性及び受信性の観点から検討を行った。その結果、低仰角エリアであるプーケットにおける受信実験結果から受信性の改善が必要と判断し、準天頂衛星の複数衛星の使用方法を提案した。この使用方法の実現可能性を評価するため、プーケットにおける主要箇所の天空画像及び衛星配置から受信性の予測を行い、複数衛星の使用により受信性が改善される可能性があり、低仰角エリアに

において複数衛星を利用した本手法が使用可能であることを示した。

第 5 章「研究全体に対する考察」では、それぞれの目標が達成され、本研究の目的が達成されたことを示した後、実用化に向けての課題について整理するとともに、相互運用性及び国際標準化に向けての課題を整理した。

これらの成果により、災害時の情報空白期における防災情報配信を補完する準天頂衛星を利用した防災情報配信システムの有用性を示した。

参考文献

- [1] 総務省, “情報通信白書平成 23 年度版,” 2011. [Online]. Available: <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h23.html>. [Accessed: 06-Dec-2014].
- [2] 総務省, “東日本大震災における通信の被災状況、復旧等に関する取組状況,” 2011. [Online]. Available: <http://www.bousai.go.jp/oukyu/higashinohon/4/pdf/soumu.pdf>. [Accessed: 05-Dec-2014].
- [3] 総務省消防庁, “東日本大震災における 防災行政無線等による情報伝達について,” 2011. [Online]. Available: http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h23_shingi/03/1-3.pdf. [Accessed: 06-Dec-2014].
- [4] 地域防災計画における地震・津波対策の充実・強化に関する検討会, “東日本大震災における J-ALERT の活用状況,” 2011. [Online]. Available: http://www.fdma.go.jp/disaster/chiikibousai_kento/houkokusyo/sanko-2-3-2.pdf. [Accessed: 20-Nov-2014].
- [5] 中央防災会議 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会, “東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告,” 2011. [Online]. Available: <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/pdf/houkoku.pdf>. [Accessed: 20-Nov-2014].
- [6] 津波避難対策検討ワーキンググループ防災対策推進検討会議, “津波避難対策検討ワーキンググループ 報告,” 2012. [Online]. Available: <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/pdf/report.pdf>. [Accessed: 06-Dec-2014].
- [7] 総務省, “情報通信白書平成 25 年度版,” 2013. [Online]. Available: <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/pdf/>. [Accessed: 06-Dec-2014].

- [8] 蓑輪正, 田中正人, 浜本直和, 藤野義之, 西永望, 三浦龍, and 鈴木健治, “安心・安全のための地上/衛星統合移動通信システム,” *電子情報通信学会論文誌. B, 通信*, vol. 91, no. 12, pp. 1629–1640, 2008.
- [9] 電気通信事業者協会, “携帯電話・PHS 契約数 2014 年度,” 2014. [Online]. Available: <http://www.tca.or.jp/database/>. [Accessed: 06-Dec-2014].
- [10] A. R.Mathur, J. Ventura Traveset, C. Montefusco, F. Toran, H.P. Plag, L. Ruiz, J.Lever, “Provision of emergency communication messages through SBAS: The ESA ALIVE concept,” in *ION GNSS 2005*.
- [11] N. Kohtake, “Association Dissemination and utilization of satellite positioning technology:Introduction of indoor positioning system IMES and real-time disaster prevention system using a quasi-zenith satellite,” *kouku to utyu*, no. 700, pp. 19–29, 2012.
- [12] 内閣府, “準天頂衛星システム ユーザインタフェース仕様書 サブメータ級測位補強サービス / 災害・危機管理通報サービス編 (IS-QZSS-L1S-001) ドラフト(2014 年 11 月 7 日版),” 2014.
- [13] 災害時の避難に関する専門調査会 津波防災に関するワーキンググループ, “情報伝達の現状と課題.” [Online]. Available: <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/3/pdf/4-2.pdf>. [Accessed: 06-Dec-2014].
- [14] 総務省, “「公共情報コモンズ」と災害情報プラットフォームの利用に関する手引き (第三版),” 2013. [Online]. Available: http://www.soumu.go.jp/main_content/000263444.pdf. [Accessed: 07-Dec-2014].
- [15] JOINT AUSTRALIAN TSUNAMI WARNING CENTRE, “RTSP Australia User Guide for Indian Ocean National Tsunami Warning Centres,” 2014. [Online]. Available: http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=7855. [Accessed: 25-Oct-2014].

- [16] BMKG, “Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS) RTSP Services User Guide for National Tsunami Warning Centre,” 2014. [Online]. Available: http://rtsp.bmkg.go.id/manual/Indonesia-RTSP_User_Guide_V.2.pdf. [Accessed: 25-Oct-2014].
- [17] Indian National Centre for Ocean Information Services, “Indian Tsunami Early Warning Center (ITEWC) RTSP Services User Guide,” 2011. [Online]. Available: <http://www.incois.gov.in/documents/tsunami/rtsp-userguide.pdf>. [Accessed: 15-Oct-2014].
- [18] 安田明生, “マルチ GNSS の動向と我が国の取り組み,” 電波航法研究会, 2014. [Online]. Available: http://www.jana.or.jp/denko/data/23_3_1.pdf.
- [19] U.S. Department of Homeland Security, “NAVIGATION CENTER.” [Online]. Available: <http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>.
- [20] I. Centre, “GLONASS status,” 2013. [Online]. Available: <https://glonass-iac.ru/en/GLONASS/>. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [21] V. N. Kazantsev, M. K. Reshetnev, A. G. Kozlov, and V. E. Cheremisin, “Overview and design of the Glonass system,” *Satell. Commun.*, vol. 2, pp. 207–216, 1994.
- [22] G. World, “GLONASS Modernization,” 2011. [Online]. Available: <http://gpsworld.com/glonass-modernization-12232/>. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [23] Tatiana Migorodskaya, “GLONASS Government Policy, Status and Modernization Plans,” *International GNSS Society Symposium 2013*, 2013. [Online]. Available: http://glonass-iac.ru/aboutIAC/GLONASS_IGNSS-2013_Mirgorodskaya.pdf. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [24] S. Revniviykh, “GLONASS Status and Progress,” *Pacific PNT 2013 Conference*, 2013. [Online]. Available: [http://glonass-iac.ru/aboutIAC/GLONASS STATUS and PROGRESS.pdf](http://glonass-iac.ru/aboutIAC/GLONASS_STATUS_and_PROGRESS.pdf). [Accessed: 13-Jun-2014].

- [25] European space agency, “galileo navigation,” 2014. [Online]. Available:
http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo.
[Accessed: 13-Jun-2014].
- [26] European space agency, “European GNSS (Galileo) Open Service Signal In Space Interface Control Document,” 2010. [Online]. Available:
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/files/galileo-os-sis-icd-issue1-revision1_en.pdf. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [27] European GNSS Service Centre, “Constellation Information,” 2014. [Online]. Available:
<http://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [28] China Satellite Navigation Office, “BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard,” 2013. [Online]. Available:
<http://www.beidou.gov.cn/attach/2013/12/26/20131226298ff2928cc34e45b4714a6ac0e14a1c.pdf>. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [29] International GNSS Service, “BeiDou Constellation Status Information.” [Online]. Available:
http://igs.org/mgex/Status_BDS.htm. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [30] 坂井丈泰, “MSAS の状況と利用への期待,” in *GPS/GNSS シンポジウム 2010*, 2010.
- [31] ESSP, “Current Architecture, EGNOS User Support,” 2014. [Online]. Available: http://egnos-user-support.essp-sas.eu/egnos_ops/egnos_system/system_description/current_architecture.
[Accessed: 13-Jun-2014].
- [32] Federal Aviation Administration, “Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard,” 2008. [Online]. Available:
<http://www.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf>. [Accessed: 13-Jun-2014].

- [33] N. Neelakantan, "Overview of Indian Satellite Navigation Programme," 2010. [Online]. Available: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2010/ICG5/18october/05.pdf>. [Accessed: 13-Jun-2014].
- [34] S. Grigory, "SDCM present status and future. GLONASS signals development," in *The Eighth Meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite System*, 2013.
- [35] 準天頂衛星システムサービス株式会社, "準天頂衛星システムとは." [Online]. Available: <http://www.qzs.jp/summary/index.html>. [Accessed: 07-Dec-2014].
- [36] 宇宙研究開発機構, "準天頂衛星初号機「みちびき」の概要," 2003. [Online]. Available: http://www.jaxa.jp/countdown/fl18/overview/michibiki_j.html. [Accessed: 05-Dec-2014].
- [37] 内閣府 and 準天頂衛星システムサービス株式会社, "準天頂衛星システムサービス パフォーマンススタンダード 共通編 (PS-QZSS-COM-001) ドラフト 2014 年 3 月 31 日 版," 2014. [Online]. Available: http://www.qzs.jp/downloads/downloads/PS-QZSS-COM-001Draft_20140331.pdf. [Accessed: 23-Nov-2014].
- [38] 宇宙航空研究開発機構, "準天頂衛星システム ユーザインタフェース仕様書," 2013.
- [39] 電子航法研究所, "L1-SAIF 信号の概要." [Online]. Available: http://qz-vision.jaxa.jp/USE/is-qzss/QZSSUM_03_02_03.pdf. [Accessed: 06-Dec-2014].
- [40] M. S. WALLNER, "Status of Definition of Dissemination of Emergency Alerts through GNSS," in *presented at the Sixth Meeting of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG), Working Group B: Enhancement of performance of GNSS services*, 2011.
- [41] T. De Cola, J. M. Chaves, and C. P. Niebla, "Designing an efficient communications protocol to deliver alert messages to the population during crisis through GNSS," *2012 6th Adv. Satell. Multimed. Syst. Conf. 12th Signal Process. Sp. Commun. Work.*, pp. 152–159, Sep. 2012.

- [42] T. Sakai and N. Hiroe, “Broadcasting Nationwide Emergency Message by QZSS L1-SAIF Signal,” in *Proceedings of the 2012 IEICE GENERAL Conference*, 2012, pp. 41–42.
- [43] 坂井丈泰, “SBAS における規格外メッセージの送信,” *測位航法学会論文誌*, vol. 3, no. 2, pp. 9–14, 2012.
- [44] 内閣府, “災害対策基本法,” 2000. [Online]. Available: <http://www.bousai.go.jp/shiryou/houritsu/001-1.html>. [Accessed: 16-Nov-2014].
- [45] 総務省, “「公共情報コモンズ」とは.” [Online]. Available: <http://www.soumu.go.jp/soutsu/shinetsu/sbt/bousai/bousai-kanren-4.htm>. [Accessed: 16-Nov-2014].
- [46] 大矢根淳, 浦野正樹, 田中淳, and 吉井博明, *災害社会学入門*, no. 1. 弘文堂, 2007, pp. 107–108.
- [47] 災害時における衛星インターネットの利活用に関する調査検討会, “災害時における衛星インターネットの利活用に関する調査検討.” [Online]. Available: http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/press/2011press/201104/20110419/2011041902_5.pdf. [Accessed: 19-Nov-2014].
- [48] 株式会社ウェザーニューズ, “東日本大震災 津波調査（調査結果）,” 2011. [Online]. Available: http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/20110908_1.pdf. [Accessed: 19-Nov-2014].
- [49] 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会, “平成 23 年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査（住民）分析結果,” 2011. .
- [50] 国土交通省, “東日本大震災の津波被災現況調査結果（第 3 次報告） ～津波からの避難実態調査結果(速報)～,” 2011. [Online]. Available: <http://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf>. [Accessed: 06-Dec-2014].

- [51] 株式会社サーベイリサーチセンター, “宮城県沿岸部における被災地アンケート 調査報告書,” 2011. [Online]. Available:
http://www.surece.co.jp/src/research/area/pdf/20110311_miyagi.pdf. [Accessed: 19-Nov-2014].
- [52] 地域防災計画における地震・津波対策の充実・強化に関する検討会, “東日本大震災における市町村防災行政無線の使用状況について（岩手県、宮城県、福島県に対するアンケート概要）,” 2011. [Online]. Available:
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h23_shingi/03/1-3.pdf. [Accessed: 20-Nov-2014].
- [53] 内閣府・消防庁・気象庁, “津波避難等に関する調査結果（速報）.” [Online]. Available: <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/6/pdf/5.pdf>. [Accessed: 20-Nov-2014].
- [54] 内閣府・消防庁・気象庁, “東北地方太平洋沖地震の津波警報及び津波情報に関わる面談調査結果（速報）,” 2011. [Online]. Available:
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/study-panel/tsunami_kaizen_benkyokai/benkyokai2/sankou_siryou1.pdf. [Accessed: 20-Nov-2014].
- [55] 中央防災会議防災対策推進検討会議, “南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）,” 2012. [Online]. Available:
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf. [Accessed: 21-Nov-2014].
- [56] 地方公共団体における災害情報等の伝達のあり方等に係る検討会, “地方公共団体における災害情報等の伝達のあり方等に係る検討会報告書,” 2012. [Online]. Available:
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tikoutai_saigaidentatsu/houkokusho.pdf. [Accessed: 21-Nov-2014].

- [57] 気象庁, “津波警報の改善について,” 2013. [Online]. Available:
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tsunami/kaizen/>. [Accessed: 21-Nov-2014].
- [58] 気象庁, “津波警報・注意報、津波情報、津波予報について,” 2014. [Online]. Available:
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index_tsunamiinfo.html. [Accessed: 21-Nov-2014].
- [59] 消防庁, “津波避難対策推進マニュアル検討会 報告書,” 2013. [Online]. Available:
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/houkokusho/p00.pdf.
[Accessed: 20-Nov-2014].
- [60] 一般財団法人日本情報経済社会推進協会, “平成 24 年度情報セキュリティ対策推進事業
(位置情報の精度・信頼性に関する調査事業) 調査報告書,” 2013. [Online]. Available:
http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2013fy/E003535.pdf. [Accessed: 20-Nov-2014].
- [61] 気象庁, “地震情報について,” 2014. [Online]. Available:
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/index_seisinfo.html,. [Accessed: 21-Nov-2014].
- [62] 気象庁, “平成 23 年 3 月地震・火山月報 (防災編),” 2011.
- [63] 国土地理院, “地図・空中写真閲覧サービス.” [Online]. Available:
<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do>. [Accessed: 02-Dec-2014].
- [64] 総務省統計局, “地域メッシュ統計の特質・沿革.” [Online]. Available:
<http://www.stat.go.jp/data/mesh/pdf/gaiyo1.pdf>. [Accessed: 16-Dec-2014].
- [65] 衛星測位利用推進センター, “QZS 利用実証に使用する受信機概要説明,” 2014. [Online].
Available: <http://www.eiseisokui.or.jp/ja/pdf/demonstration/feature/141104-05.pdf?PHPSESSID=879021fd03e2ef9d5c551e55ca745b6b>. [Accessed: 20-Nov-2014].

- [66] 横浜市, “津波避難施設マップ西区.” [Online]. Available: <http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/keikaku/tsunami/nisiku.pdf>. [Accessed: 03-Nov-2013].
- [67] UNESCO, “Full-scale test of Indian Ocean Tsunami Warning System to take place on 12 October,” 2011. [Online]. Available: http://www.unesco.org/new/en/media-services/single-view/news/full_scale_test_of_indian_ocean_tsunami_warning_system_to_take_place_on_12_october/#.VEs3kfmsV8E. [Accessed: 10-Sep-2014].
- [68] 田中孝宜, “始動 イ ン ド洋津波警報システム,” 放送研究と調査, no. August, pp. 50–61, 2012.
- [69] Y. Goto, N. Fadli, M. Affan, and D. Reliability, “Quick Report No . 2 (Revised version) Response of the People in Banda Aceh just after the,” vol. 2, no. 2, pp. 0–33, 2012.
- [70] “RTSP Australia Regional Tsunami Service Provider for the Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation Service (IOTWS),” *The Bureau of Meteorology*, 2014. [Online]. Available: <http://reg.bom.gov.au/tsunami/rtsp/>. [Accessed: 20-Sep-2014].
- [71] UNESCO, “Exercise Indian Ocean Wave 2011: an Indian Ocean-wide tsunami warning and communication exercise, 12 October 2011 (Exercise Manual and Exercise Report),” vol. 1, no. October, 2011.
- [72] Patong Municipality of Phuket, “Disaster Management Plan,” 2008. [Online]. Available: [http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/ANNEXES/4.3 Disaster Management plans/Disaster management plan_Patong.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/ANNEXES/4.3%20Disaster%20Management%20plans/Disaster%20management%20plan_Patong.pdf). [Accessed: 20-Sep-2014].
- [73] ファーストメディア株式会社, “防災情報 全国避難所ガイド.” [Online]. Available: <http://www.hinanjyo.jp/>. [Accessed: 11-Dec-2014].

- [74] マップルオン, “災害避難マップアプリ.” [Online]. Available: <http://mapple-on.jp/products/hinan>. [Accessed: 11-Dec-2014].
- [75] 総務省, “緊急通報の機能.” [Online]. Available: http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/net_anzen/hijyo/tuho.html. [Accessed: 11-Dec-2014].
- [76] 小高暁, 川崎昭如, 大原美保, 近藤伸也, 小森大輔, and アディソン・サンタララック, “SMS の導入可能性に関する調査分析,” 地域安全学会論文集, no. 19, pp. 1–8, 2013.
- [77] 総務省, “世界情報通信事情, 携帯電話事情,” 2012. [Online]. Available: <http://www.soumu.go.jp/g-ict/item/mobile/>. [Accessed: 20-Jan-2014].
- [78] アウンコンサルティング株式会社, “世界 40 カ国, 主要モバイルシェア状況,” 2014. [Online]. Available: <http://www.globalmarketingchannel.com/press/survey20141112>. [Accessed: 20-Jan-2015].
- [79] StatCounter, “statcounter.” [Online]. Available: <http://gs.statcounter.com/>. [Accessed: 12-Feb-2015].
- [80] European space agency, “WORLDWIDE GALILEO GROUND SEGMENT.” [Online]. Available: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/07/Worldwide_Galileo_Ground_Segment. [Accessed: 15-Jan-15].
- [81] I. Fern, “GNSS Programmes and R & D landscape in the EU,” 2011. [Online]. Available: <http://www.icl-gnss.org/2011/Fernandez11.pdf>. [Accessed: 15-Feb-2015].
- [82] 福長, 秀彦, “公衆警報の様式統一と放送-米国の CAP 導入と気象庁 XML-,” 放送研究と調査, no. April, pp. 36–51, 2010.

研究業績

学会誌等における誌上発表(採録予定を含む)※筆頭著者のみ

- ・ 準天頂衛星補強信号を利用した広域防災情報配信手法の設計と情報伝達性の評価, 岩泉大介, 石田剛朗, 平田大輔, 飯野翔太, 佐藤博毅, 磯尚樹, 恵藤拓也, 神武直彦, 電子情報通信学会論文誌, B Vol.J97-B, No.11, pp.1043-1060, Nov 2014.
- ・ 準天頂衛星補強信号を利用した防災情報配信システムの受信性・行動誘発性・エリア配信性のユーザー評価, 岩泉大介, 石田剛朗, 飯野翔太, 佐藤博毅, 磯尚樹, 五関利幸, 神武直彦, 地域安全学会論文集, No.24, pp.21-31, Nov 2014.
- ・ Improvement of Reception and Transmission Performance on Early Warning System for Multi Country with QZSS Augmentation Signal, Daisuke Iwaizumi, Shota Iino, Hiroki Satoh, Mitsuaki Takaishi, Naoki Iso, and Naohiko Kohtake, Journal of Disaster Research, Vol.10, No.2 (掲載決定済)

国際会議発表 (査読付きの full-length papers) (発表予定を含む) ※筆頭著者のみ

- ・ GNSS-based Emergency Message Service: Lessons learned and Future Prospects, Daisuke Iwaizumi, Takaaki Ishida, Shota Iino, Naohiko Kohtake and Peter Bruist, 7th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference 13th Signal Processing for Space Communications Workshop, Livorno, Italy, Sep 2014
- ・ Improvement of Reachability and Promptness of an Augmentation-Signal-Based Emergency Warning Broadcasting System Using Multiple Satellites of the QZSS Constellation, Daisuke Iwaizumi, Shota Iino and Naohiko Kohtake, Proceedings of 2014 International Conference on Future Computational Technologies, Singapore, Mar 2015 (発表決定済)

その他の国際会議発表, 国内会議・研究会発表

- Evaluation of reachability and promptness in delivering disaster and evacuation information using an augmentation signal of the Quasi-Zenith Satellite System, Daisuke Iwaizumi and Naohiko Kohtake, International Astronautical Congress, Beijing, China, Sep 2013.
- 準天頂衛星補強信号を利用した広域防災情報配信システムの避難行動実験による評価, 岩泉大介, 石田剛朗, 平田大輔, 飯野翔太, 佐藤博毅, 磯尚樹, 五関利幸, 神武直彦, 減災情報システム第1回合同研究会, 新潟, 日本, Mar 2014.

謝辞

本研究論文は慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科（慶應SDM）後期博士課程在籍中の2012年4月から2015年3月までの約3年の研究内容をまとめたものです。

本研究を行うにあたり、多くの方々からご支援をいただきました。特に、多大なご支援を賜りました方々への感謝をここに記します。

はじめに、指導教官であり博士論文審査の主査である、慶應SDMの神武直彦准教授に心から御礼を申し上げます。研究及びプロジェクトに対して、自由にやらせていただきつつも、不透明になる方向性に対しては道筋を描いていただきました。また、先生には論文に関する多くの方の協力をとりつけていただき、先生のコネクションの広さに助けていただきました。3年間博士課程の研究を不自由なく続けることができたのは、先生のお陰です。先生が常におっしゃった論文の書き方は、原著論文作成は元より、博士論文を書く際の土台となりました。本当にありがとうございました。

ご多忙の中、副査を引き受けて下さった、西村秀和教授、狼嘉彰SDM研究所顧問、東京大学の柴崎亮介教授、European GNSS AgencyのDr.Peter Buistに、深く感謝いたします。

西村先生には、システムズエンジニアリングの観点から論文をレビューしていただき、システムエンジニアリング学の学位を取得する論文とすることができました。深く感謝いたします。

狼先生には、入学当初から研究のご指導をいただいております。特に、システムズエンジニアリングから、論文の書き方の基礎的な部分まで広範囲に渡るご指導をいただきました。深く感謝いたします。

柴崎先生には、G空間、ICT、防災、国際展開と多岐に渡る技術的、社会的な観点からご指摘をいただき、先生のご指摘からさらなる検討事項を明らかにすることができました。本当にありがとうございました。

Dr.Peterには、測位衛星の専門家として、論文に対する技術的な指摘及びシステムの国

際展開及び相互運用性を検討するための助言をいただき、論文の完成度を上げていただきました。本当にありがとうございました。

日比谷孟俊 SDM 研究所顧問には、月 1 回の研究室のドクターセミナーに参加していただき、多くのご指導をいただきました。深く感謝を申し上げます。

石田剛朗先生には、研究の進め方から論文の書き方まで、丁寧に教えていただき、研究の相談に何度も乗っていただきました。原著論文を採択されることができたのも、石田先生のお力添えがあつてこそでした。心より御礼を申し上げます。

慶應 SDM の前野研究科委員長をはじめ、中野冠先生、白坂成功先生、手嶋龍一先生、春山真一郎先生、保井俊之先生、湊宣明先生、西山敏樹先生には研究発表会等で貴重なコメントをいただきました。深く感謝申し上げます。また、講義やイベント等でお世話になりました。小木哲朗先生、高野研一先生、当麻哲哉先生に感謝申し上げます。

RedRescue プロジェクトで一緒させていただいたプロジェクトメンバーの方々には、本当にお世話になりました。特に、プロジェクトの代表である NTT データの磯尚樹氏には、本研究及びプロジェクトにおいて必要な実験の多くを積極的に採用していただきました。また、NTT データの佐藤博毅氏には、プロジェクト開始当初から多くの議論をさせていただきました。NTT データの高石光章氏には、他機関との実験の調整など、多くの支援をしていただきました。NTT データの楠田哲也氏には、インドネシアにおけるヒアリング時に現地にてご調整していただくとともに、慶應 SDM の先輩として多くのご指導をいただきました。NTT データの栗林真氏には、プロジェクト開始当初からご支援いただきました。パスコの坂下裕明氏、五関氏には防災及び地理空間の分野について多くのアドバイスをいただきました。また、研究を行う上での各機関への申請を行っていただきありがとうございました。パスコの恵藤拓也氏には、実験時の役割分担、ヒアリングの支援等多くのご支援をいただきました。TIS の西垣知恵氏には、準天頂衛星から配信する際には、常にデータの作成を協力していただき、深く感謝いたします。プロジェクト関係者の方々には多大なるご協力をいただき、再度深く感謝いたします。

イサナドットネット株式会社の方々、特に三鍋洋司氏には、アプリケーションの作成をご支援いただきました。有難うございます。また、本研究の準天頂衛星からの防災メッセージの配信をしていただくと共に、受信機を御貸しいただいた衛星測位利用推進センタ

一の方々に御礼を申し上げます。特に松岡繁氏、竹下順明氏には、配信を行っていただくと共に、海外での実験のために通常勤務時間以外の配信もしていただきました。本当にありがとうございました。NECの方々には、受信機を貸していただくと共に実験のご支援をいただきました。有難うございます。宇宙航空研究開発機構の小暮聡氏には、研究に必要なデータをいただくとともに、研究に対しての的確なアドバイスをいただきました。本当に有難うございます。アジア防災センターの池田誠氏には、アジアにおける津波警報機関についてのヒアリングを行う際に、多くの機関の方にコンタクトしていただきました。深く感謝いたします。東京海洋大学の久保信明先生、東京大学の長井正彦先生には、バンコクで実験を行う際に大変お世話になりました。静岡市都市計画課からは研究に必要なGISデータ、神奈川県、内閣府からは津波浸水深に関するデータをいただきました。この場を借りて深く感謝いたします。

本研究は、著者が所属する防衛省技術研究本部の大学院留学研修により実施いたしました。特に、小林松男陸上装備研究所長、松下義宣前陸上装備研究所長には、研究の機会をいただき有難うございました。また、研修に進むきっかけを作っていただいた山口弘氏、また研修中にご指導をいただいた飯野稔氏、有澤治幸氏、佐藤祐司氏に御礼を申し上げます。所属する旧弾薬システム研究室、火力システム研究室、兼務先である旧弾道・火薬研究室、火力・防護力評価研究室の室員の方には、研修期間中ご支援いただきありがとうございます。特に、前室長である蓬台治徳氏、森下政浩氏、現室長である松澤豊樹氏、前副室長である原田栄氏、現副室長である田中正弘氏には、研究の進捗について見守っていただきました。有難うございます。また、本研究は技術研究本部で学んだ経験を生かすことで実施することができました。長年ご指導いただきました先輩、同輩の皆様に感謝申し上げます。特に那須野雄介氏には厳しく研究の仕方について教えていただきました。また、廣瀬一弥氏はSDM研究科の先輩でもあり、多くの助言をいただきました。また、総務部の方々には、研修期間中の諸手続について実施していただきました。ここに御礼を申し上げます。

また、研究の一部は文部科学省宇宙科学技術推進調整委託費の「測位衛星の簡易メッセージ機能の価値を向上させる国際展開可能な防災情報プラットフォームの構築」として実施し、また研究の一部は慶應義塾大学大学院博士課程学生研究支援プログラムによる支援

を受けました。

神武研究室の助教，先輩，現メンバー，神武研究室のドクターセミナーでご一緒させていただいた方々に御礼申し上げます。特に，平田大輔さん，飯野翔太さんは同じプロジェクトを実施するとともに，研究におけるディスカッション，国内及び海外での実験と多くの時間を共有させていただきました，深く感謝いたします。近藤由衣子さんには，海外での実験に協力していただき，またデモンストレーションのビデオ撮影にも協力していただきました。また，入学同期のメンバーでした，相川真里奈さん，小荷田成堯さん，高橋裕希さん，茅野小百合さん，同じ位置情報の研究を実施していた中島円先生，日高正貴さんには，実験の協力や研究に対する有益なアドバイスや励ましをいただきました。高畠大輔さん，西野瑛彦さんには海外での実験やデモンストレーションの支援をしていただきました。また，ご卒業された前島弘則さん，博士課程の中島庸介さん，大谷康雄さん，櫻橋淳さんは，ドクターセミナーにおいて多くのアドバイスをいただくことができました。また，研究員である敷村朝生さんからは，位置情報，防災という観点からの確かなアドバイスをいただきました。ここに深く感謝いたします。また，神武研究室の秘書である西川友代さん，佐藤香さん，菅野彰子さんには，多くのサポートをいただきました。本当にありがとうございます。

研究を行うにあたり，父，母，妹，姪，祖母，叔母の家族にも心配をかけました。いろいろ気を回していただき，本当に感謝しています。

最後に本研究の成果により災害時の犠牲者が少しでも減らせることを願います。

2015年3月

岩泉 大介