

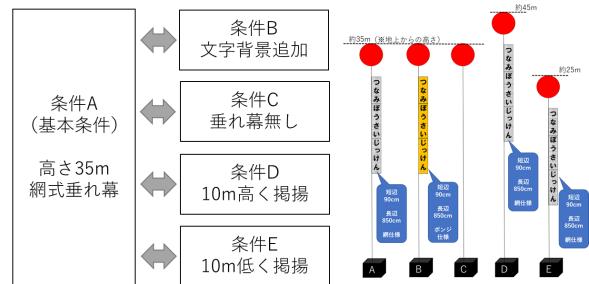


**実証実験サポートプログラム 2022年第2期
実証実験成果報告書**

津波バルーンプロジェクト

Tsunami Balloon
東北大学 津波工学研究室
成田峻之輔（修士1年）

要約

タイトル	バルーンを用いた指定緊急避難場所への避難誘導
会社名	Tsunami Balloon (成田峻之輔：東北大学大学院 津波工学研究室)
1. 解決を目指す防災・減災課題と解決方法	2. 実証実験の実施内容
<p>津波災害の指定緊急避難場所（津波避難ビル等）は、危険が切迫した状況で身を守る場所として重要な役割を持つ。しかし、土地勘のない来街者や避難先を事前に把握していない住民にとって、時間的余裕が十分にない状況で避難先を迅速に判断することは難しく、避難意思があつても適切な避難行動が取れないことが懸念される。</p> <p>そこで、本プロジェクトでは津波発生時の指定緊急避難場所への誘導を目的とし、避難先の方向や距離を直観的に把握するための情報媒体として、専用バルーンの活用を検討する。</p>	<p>本実証実験では、専用バルーンによる避難誘導が可能な範囲を推定するべく、専用バルーンの視認性を調査した。</p> <p>仙台市沿岸部の温泉複合施設（アカイグニス仙台）にて専用バルーンを設置し、施設の来訪者や従業員に「バルーン自体に気づいた地点」と「垂れ幕の文字を読み取れた地点」を回答してもらうことで、視認距離を推定した。さらに、専用バルーンの掲揚条件（高さ・垂れ幕）を変更し、各条件の違いによる視認性への影響を調べた。また、1週間の実験期間を通して風耐性やヘリウムの消耗等の維持管理についても検討した。</p>
<p>津波避難時のイメージ</p> 	<p>条件A (基本条件) 高さ35m 網式垂れ幕</p> <p>条件B 文字背景追加</p> <p>条件C 垂れ幕無し</p> <p>条件D 10m高く掲揚</p> <p>条件E 10m低く掲揚</p> 
3. 実証実験結果	4. 今後の展開
<p>専用バルーンの視認性の検証結果から、過半数の人気がバルーンの存在に気づくのは、バルーンの設置地点から約500m～1kmの距離範囲であることが推定される。</p> <p>一方で、従業員（バルーンの設置を事前に告知した群）では約150mの距離範囲で過半数の人が垂れ幕の文字を読み取れたが、来訪客（バルーン設置を事前に告知しなかった群）の場合はアンケート回答時点で文字を読み取っていない人が約半数であった。このことから事前の周知無しでは、専用バルーン掲揚の意図を認識されない可能性があることがわかった。</p>	<p>本実証実験では視認性の検証のみにとどまったが、社会実装には主に4つのハードルがある。</p> <ol style="list-style-type: none">悪天候時（強風・雨・雪）に弱い照明・蓄光等による夜間対応掲揚等の無人化・自動化ヘリウムガス調達 <p>今後、これらの課題を解決する上で必要な手法を検討する。また、これらの課題に対する対策の一環として、3月以降行う追加実験では、より軽量なゴム製バルーン（ガス使用量が今回の1/5以下）とインフレータブルバルーン（送風機を利用して立ち上げるタイプ）を利用し、同様に視認性を調査する。それらの視認性の検証結果と社会実装までの課題解決可能性を鑑み、最適な運用方法を検討する。</p> <p>また、専用バルーンによる避難時の行動選択への影響も調べるために、VR空間での避難シミュレーションも実施する。</p>

1. 解決を目指す防災・減災課題と解決方法

■ 指定緊急避難場所の認識率の低さによる避難時の懸念



緊急指定避難場所 (津波避難ビル・津波避難タワー等)



津波が差し迫った状況での避難（切迫避難）において
一時的に身の安全を確保するために緊急に避難する場所



特に避難完了までに時間の余裕が十分にない場合において
緊急指定避難場所への迅速な誘導が非常に重要な鍵となる。

例) 短時間（数分～十数分）で津波が到達する場合
地形特性上、避難者の近くに高台がない場合
何かの理由で避難開始が遅れてしまった場合

仙台市沿岸部の様子



津波発生時には土地勘のない人でも
即座に避難先を把握できる目印が必要

©Google Earth

1. 解決を目指す防災・減災課題と解決方法

■ 専用バルーンによる津波避難ビル等への視覚的誘導

既存の建築物に対する指定緊急避難場所の指定基準は「高さ」だけではない

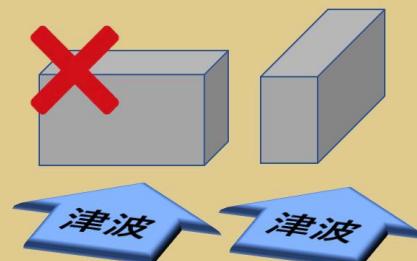
安全な高さまでの経路が
常に確保できる建物



RC構造 or SRC 構造
(鉄筋コンクリート or 造鉄骨鉄筋コンクリート)

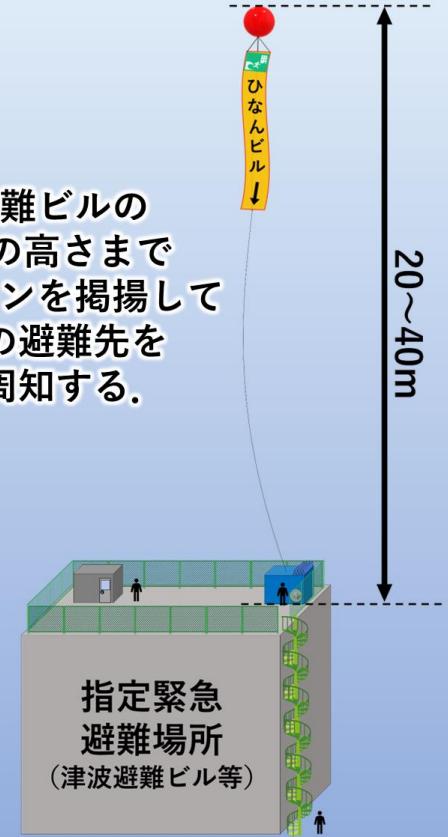


津波の進行方向に対して
十分な奥行きがある建物



一般の人が外観だけで判断するのは難しいため
バルーンの掲揚により津波先の場所を周知する

津波避難ビルの
3~4倍の高さまで
アドバルーンを掲揚して
緊急時の避難先を
広域に周知する。



2. 実証実験の実施内容

■ A：専用バルーンの視認性調査

沿岸部の温泉複合施設（アクアイグニス仙台）にて専用バルーンを掲揚し、施設の来訪客・従業員を対象に「バルーンそのものに気づいた地点」と「バルーンの垂れ幕の文字を読み取れた地点」を調査した。この結果から、半数の人がバルーンを認識できる範囲を推定した。



■ B：運用・維持管理に関する検討

1週間の実験期間を通して、ヘリウムガスの消費量を計り、常時充填状態で維持管理する場合のヘリウム消費量を推定した。また、実地計測で得られた風速データから、掲揚が可能なおおよその風速を推定した。これらの検証結果に基づき、運用・維持管理方法について検討した。



※1月下旬の寒波の影響により平常時の広告利用を実施できていません。当初検証予定だった「防災の副次機能による経済的持続性」は評価できていませんが、Appendixにて参考資料を添付します。

2. 実証実験の実施内容

■ 実施体制と役割

Tsunami Balloon

本プロジェクトの実施主体（学生・個人）であり、通常のアドバルーン掲揚に必要な屋外広告業の業務主任者資格を取得。

- ・ 垂れ幕の製作・バルーン本体の発注
- ・ 現場の設置設営・撤収作業
- ・ バルーン掲揚における安全管理
- ・ アンケート等のデータ収集
- ・ 諸経費の管理

アクアイグニス仙台

実証実験の実施場所となる温泉複合施設であり、本実証実験における場所・人手等を提供

- ・ アンケート報酬（ドリンクサービス）の準備
- ・ バルーン保管場所・アンケートブース等の提供・管理
- ・ バルーンの掲揚回収、設置設営業務の補助
- ・ 従業員のアンケート回答

東北大学

プロジェクト実施者の所属先であり、実証実験の実施に当たり実施者の研究指導・活動支援を行う。

- ・ クラウドファンディングによる活動支援（東北大学基金）
- ・ 研究指導（災害科学国際研究所：今村教授・佐藤准教授）
- ・ 倫理審査（倫理審査委員会）

仙台市

仙台BOSAI-TECHの運営主体であり、防災事業のサポートプログラムを実施。

- ・ 活動経費の補助（最大50万円）
- ・ 実証実験の実施に関する助言・サポート
- ・ 実験場所等の視察

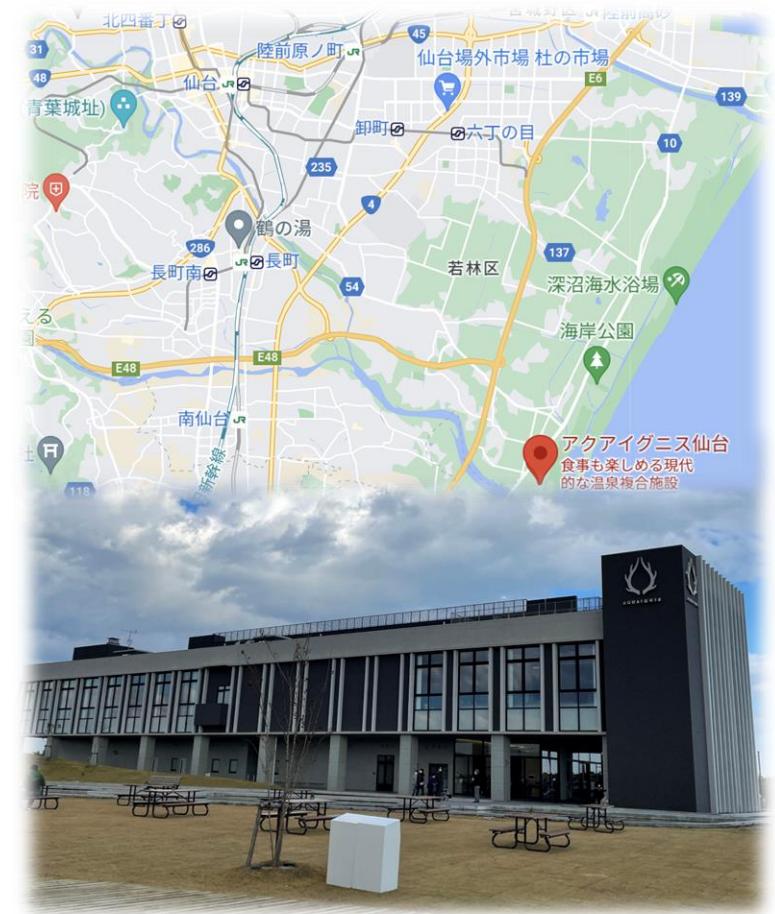
2. 実証実験の実施内容

■日程(1月17日~24日)

条件A（基本条件）	条件B	条件C	条件D	条件E
<p>高さ：地上から約35m 表記：ひらがな 垂れ幕：背景色なし 短辯：90cm</p> <p>1月19日（木） 7:25～14:47</p> 	<p>高さ：地上から約35m 表記：ひらがな 垂れ幕：背景色あり 短辯：90cm</p> <p>1月23日（月） 7:20～14:30</p> 	<p>高さ：地上から約35m 表記：ひらがな 垂れ幕：無し 短辯：90cm</p> <p>1月22日（日） 7:35～12:40</p> 	<p>高さ：地上から約45m 表記：ひらがな 垂れ幕：背景色なし 短辯：90cm</p> <p>1月17日（火） 7:20～12:20</p> 	<p>高さ：地上から約25m 表記：ひらがな 垂れ幕：背景色なし 短辯：90cm</p> <p>1月24日（火） 7:35～14:00</p> 

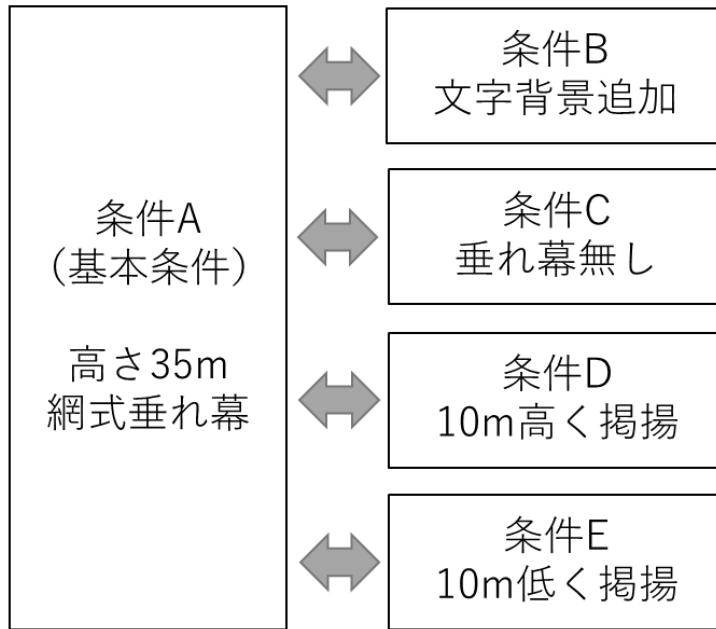
■ 場所(アクアイグニス仙台)

仙台市若林区藤塚字松の西33-3



2. 実証実験の実施内容

■具体的な検証作業・手順

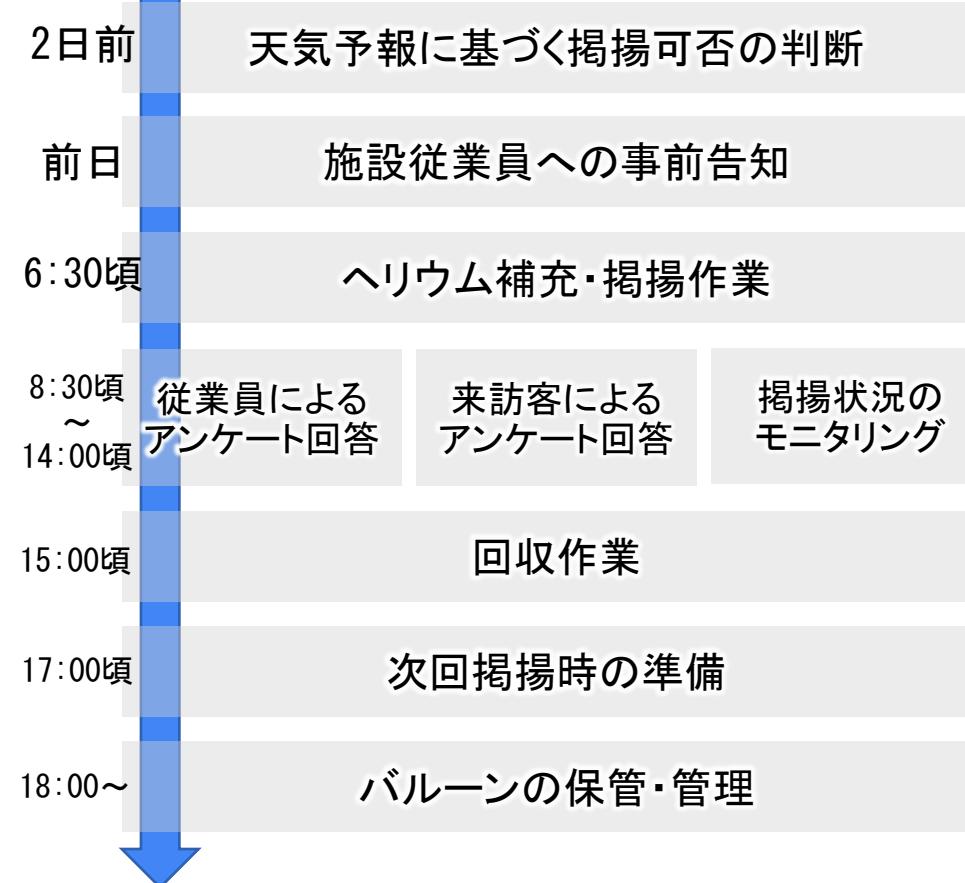


上記の5つの条件で掲揚し、「バルーン自体に気づいた地点」と「垂れ幕の文字を読み取れた地点」を従業員・来訪者に回答してもらう。得られた回答から掲揚地点までの距離と視認率・読取率の関係を明らかにする。この結果に基づいて、おおよその誘導可能範囲を推定する。また、掲揚条件による視認率・読取率の違いについても分析する。

従業員：バルーン掲揚の事前告知あり
(掲揚の意図を事前に知っている避難者を想定)

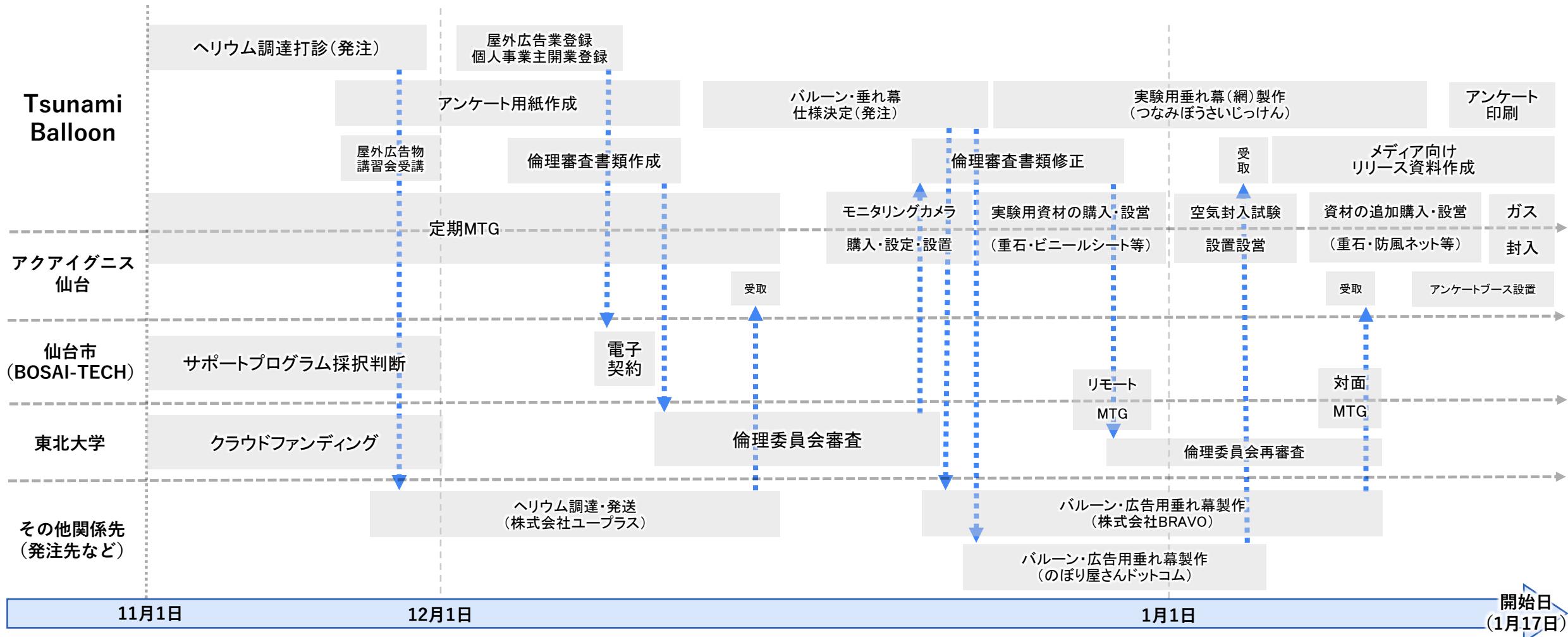
来訪客：バルーン掲揚の事前告知なし
(掲揚の意図を事前に知らない避難者を想定)

一回の掲揚における作業の流れ



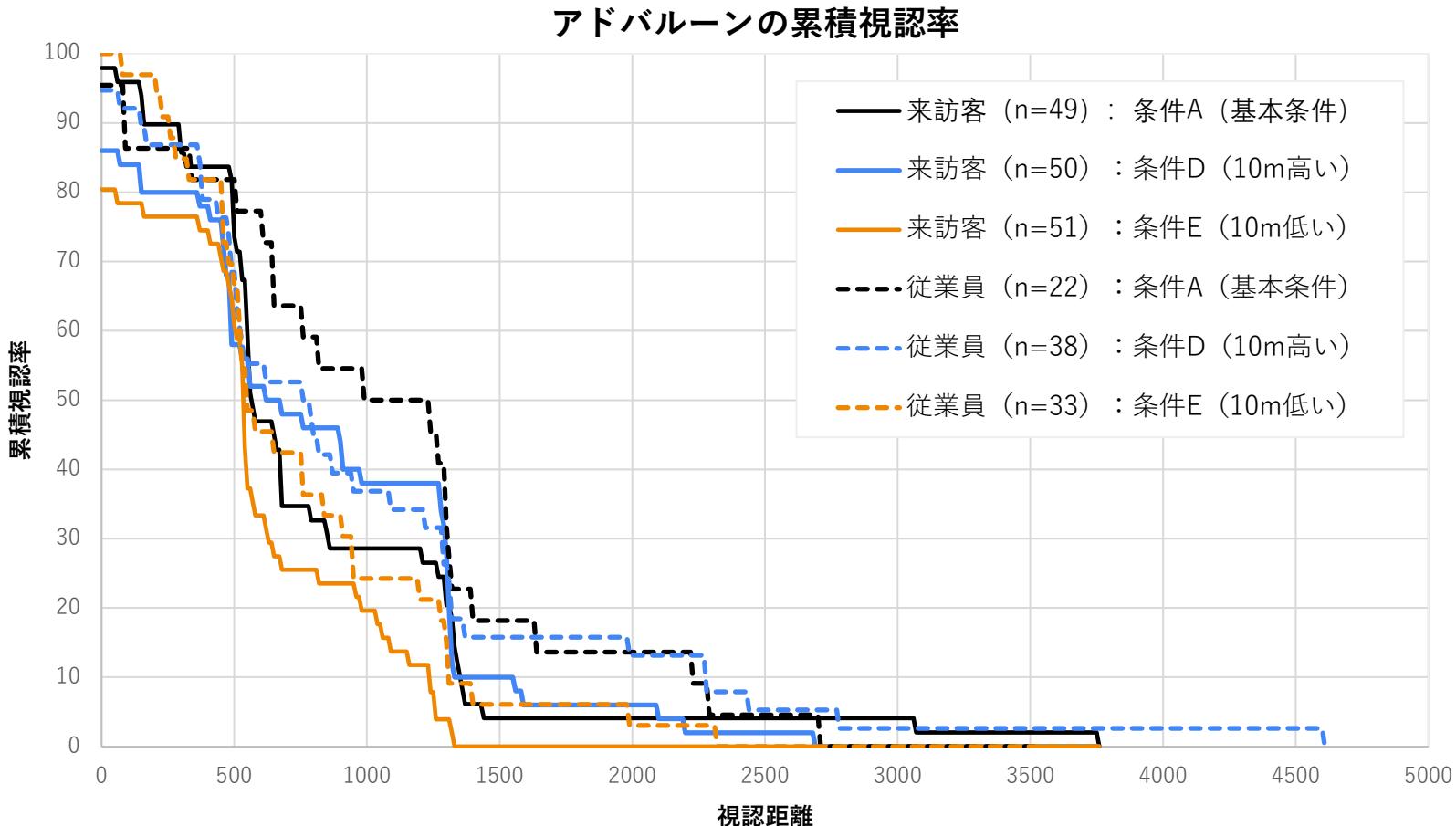
2. 実証実験の実施内容

実証実験開始までの準備の流れ



3. 実証実験結果

■ A：バルーン自体の視認率（因子：掲揚高さ）

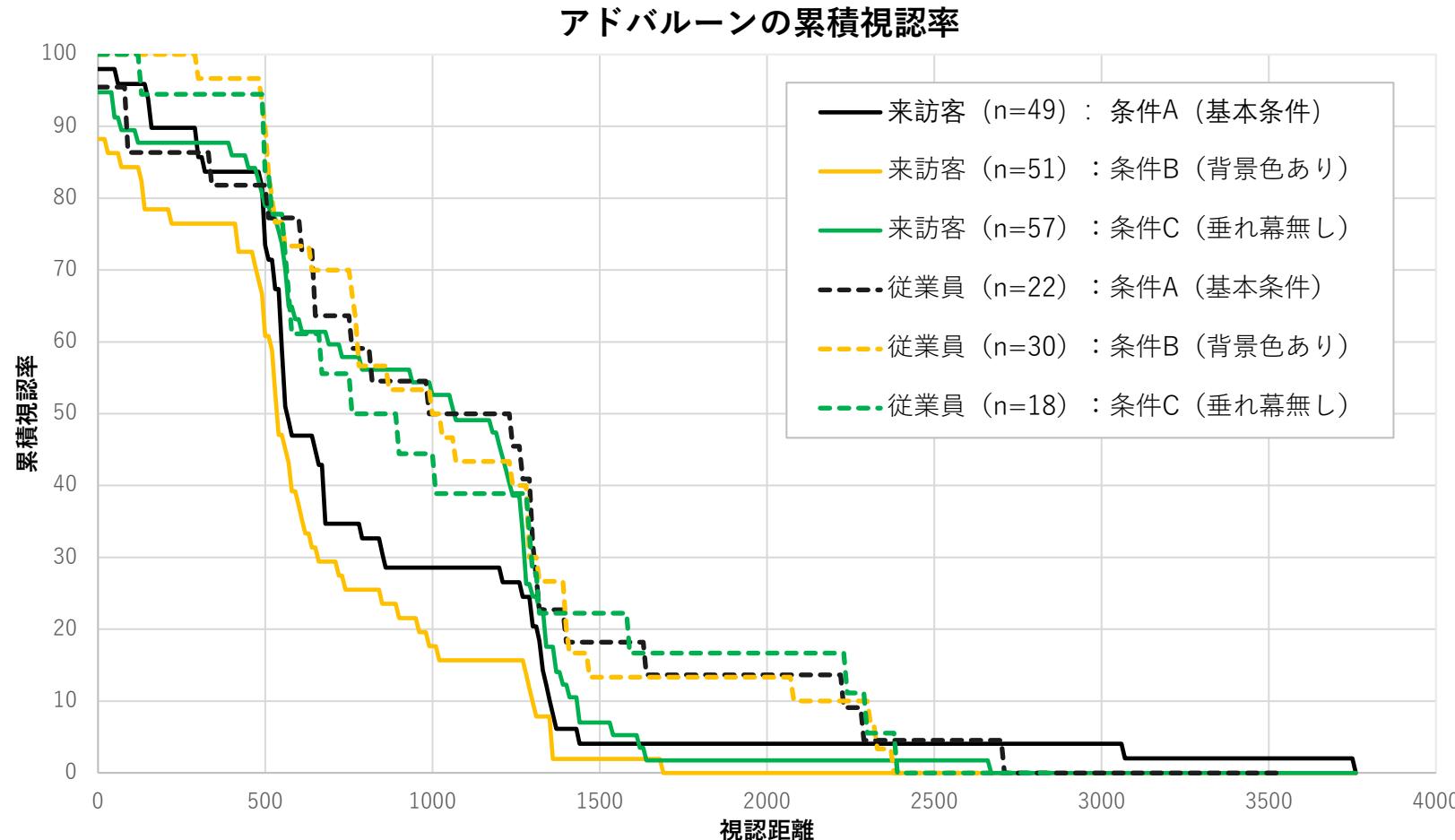


結果・考察

- 掲揚地点から500mの距離範囲では、どの掲揚条件でも約5割がバルーンの存在に気づいている。
- 掲揚地点から1000mの距離範囲では、条件によって視認率が約2～5割までばらつく。
- 掲揚地点から1500mの距離範囲では、掲揚地点が35m以上かつ事前告知があった群（従業員）のみ視認率が1割を超える。
- 全体で掲揚地点（アンケートブース）に来るまで、アドバルーンの存在に全く気づかなかつた人が約1割いる。
- 各掲揚条件で、事前告知があった群（従業員）は、事前告知がなかった群（来訪客）よりも遠くで気づく傾向にある。
- 実験初日に実施した条件Dでは従業員と来訪客で大きな差がないことから、慣れにより視認しやすくなつた可能性がある。

3. 実証実験結果

■ A：バルーン自体の視認率（因子：垂れ幕デザイン）

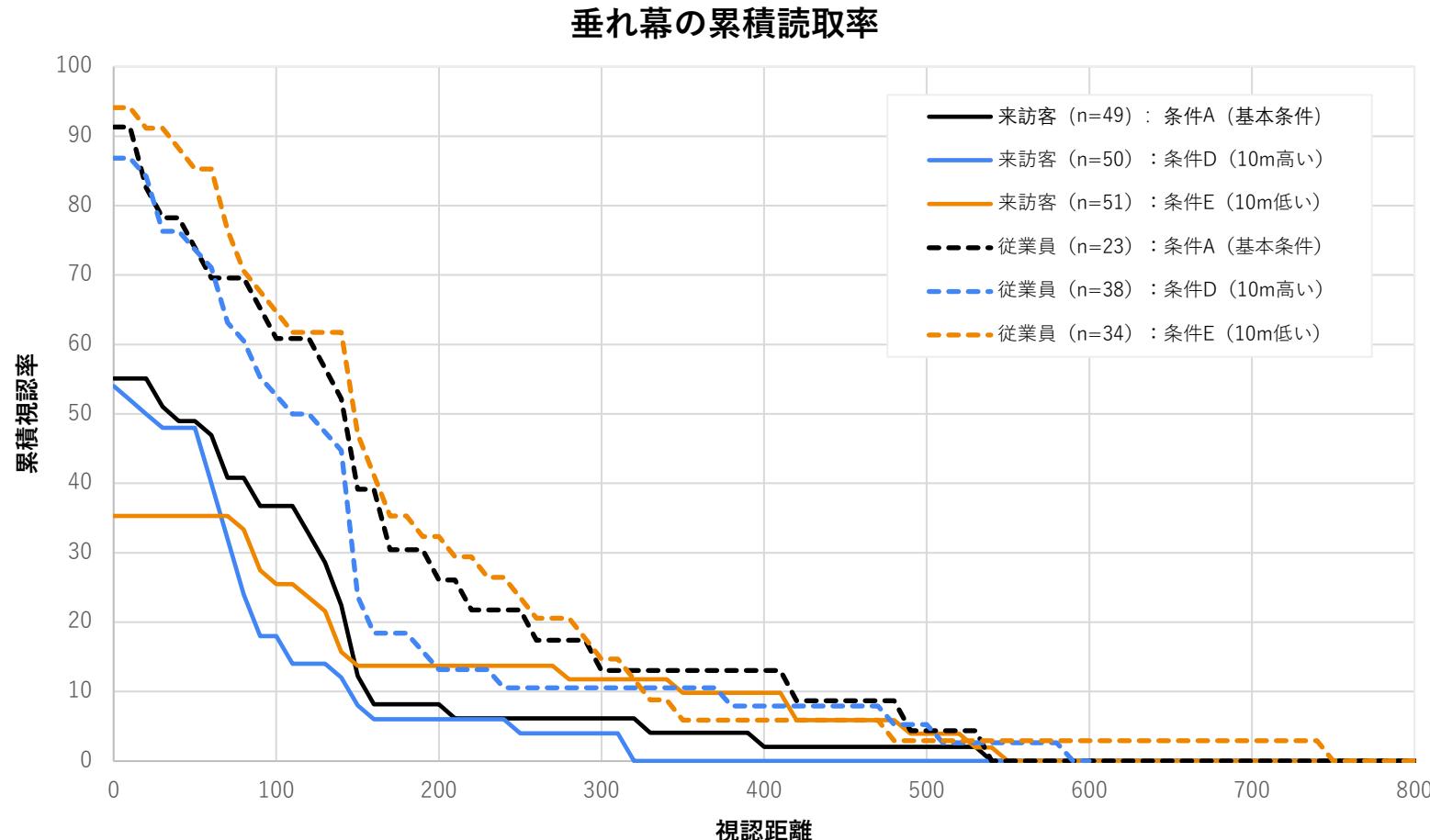


結果・考察

- 掲揚地点から500mの距離範囲では、どの掲揚条件でも約6割がバルーンの存在に気づいている。
- 掲揚地点から1000mの距離範囲では、条件によって視認率が約2～5割までばらつく。
- 掲揚地点から1500mの距離範囲では、どの掲揚条件でも事前告知があった群（従業員）であれば、視認率が1割を超える。
- 垂れ幕が目立つ方がバルーンの視認性が高くなると想定していたが、事前告知がなかった群（来訪客）に対しては、垂れ幕がないバルーンの視認性が高く、背景色のあるバルーンの視認性が低い。垂れ幕がないバルーンの掲揚が日曜日（掲揚場所に来るまで同行者がいた人の割合が高い日）であったことや、当日の天気による背景の違い（青か白か）など、他の因子が関係している可能性がある。
- 垂れ幕のデザインや有無が、バルーンそのものの視認率に与える影響は小さいと考えられる。

3. 実証実験結果

■ A：垂れ幕文字の読取率（因子：掲揚高さ）

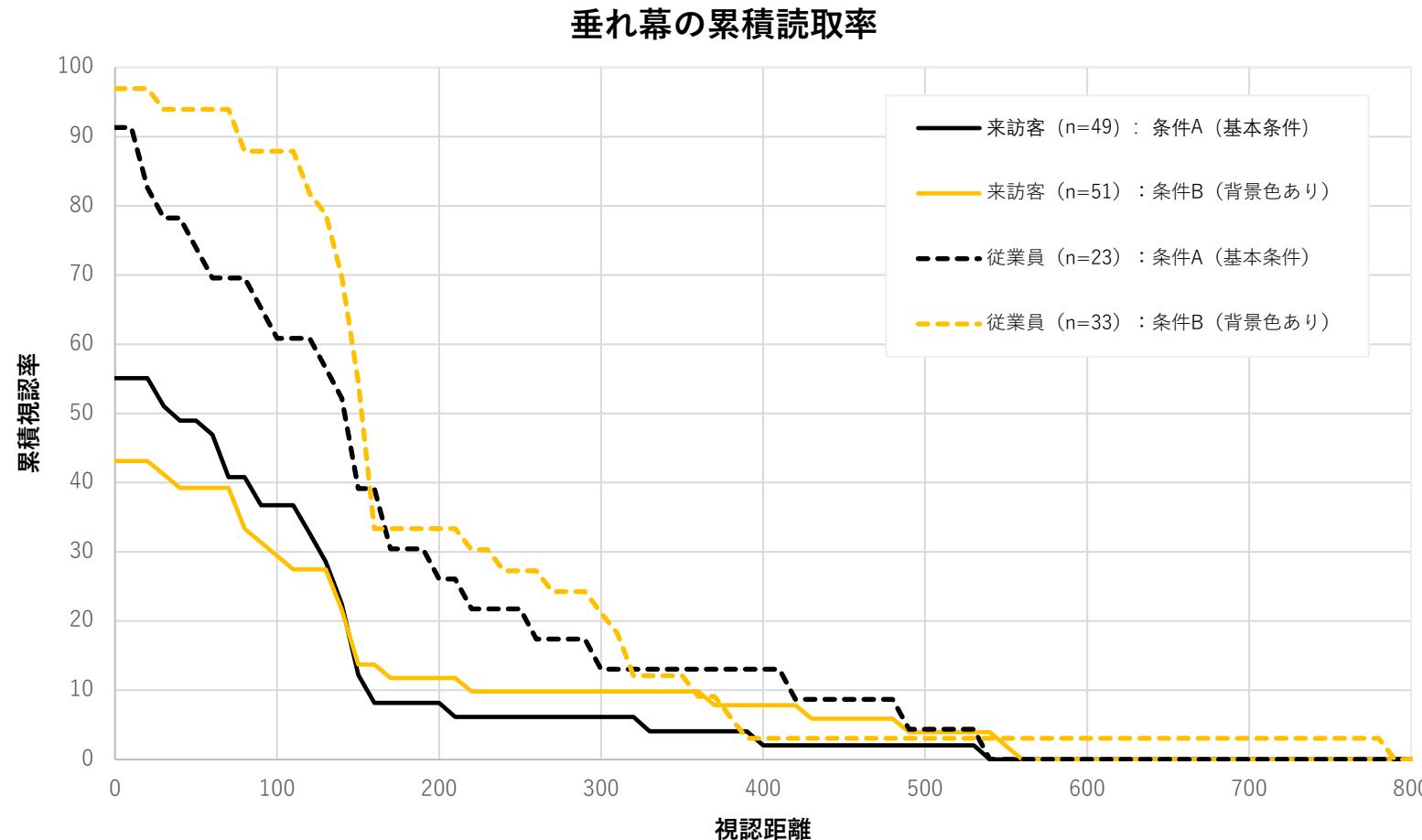


結果・考察

- 事前告知がなかった群（来訪客）は、掲揚地点（アンケートブース）に来るまで全く気づかなかつた人が、約45～65%いる。このことから、避難時にバルーン掲揚の意図を知らない場合、垂れ幕の文字情報によってその意図を伝達できる範囲は限定的であり、掲揚目的の事前周知が重要となる。
- 掲揚高さが高いほど文字の読取率が高くなると想定していたが、掲揚高さの低い条件の方が読取率が高い場合が多い。垂直距離が長くなることで読み取りづらくなる可能性がある。
- どの掲揚条件でも事前告知があった群（従業員）の視認率が5割を超えるのは、掲揚地点から100mの距離範囲となる。
- 垂れ幕は風の影響により、靡いたり角度がついたりするため、一般的な標識と比較して文字が読み取りづらいと考えられる。

3. 実証実験結果

■ A：垂れ幕文字の読み取率（因子：垂れ幕デザイン）



結果・考察

- 事前告知がなかった群（来訪客）は、掲揚地点（アンケートブース）に来るまで全く気づかなかつた人が、約45～55%いる。このことからも、避難時にバルーン掲揚の意図を知らない場合、垂れ幕の文字情報によってその意図を伝達できる範囲は限定的であり、掲揚目的の事前周知が重要となる。
- 垂れ幕に背景色がある場合、事前告知があった群（従業員）が掲揚地点の近く（約100m）まで来たときの読み取率が大きく上がる。文字を読み取ろうとする人に対しては読み取りやすくなると考えられる。
- 垂れ幕無し、基本条件（背景色なし）、背景色ありの順番で風耐性が強い（津波発生時に機能する可能性が高い）ことを考慮すると、バルーン掲揚の際には、垂れ幕を用いない方法が望ましい。

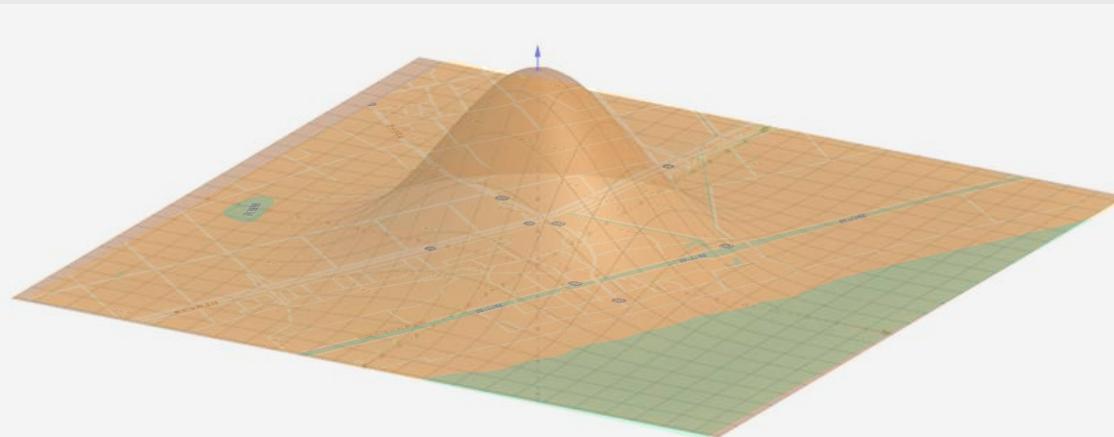
3. 実証実験結果

■ A：各掲揚条件における誘導力の定量評価

視認範囲が同心円状と仮定して各掲揚条件の誘導力を定量評価する。

例) 距離が遠いと視認率は低くなるがカバー範囲は広くなる。

例) 距離が近いと視認率は高くなるがカバー範囲は狭くなる。



$$G \times 10^6 = 2\pi \int_0^a xf(x) dx \doteq \sum_{k=0}^{\alpha} \pi r^2 \{(k+1)^2 - k^2\} f(k)$$

G : 誘導力 (km³)
x : 距離 (m)
r : 区間距離 (m)
a : 誘導対象距離 (m)
f(x) : 視認率関数

各掲揚条件の誘導力G

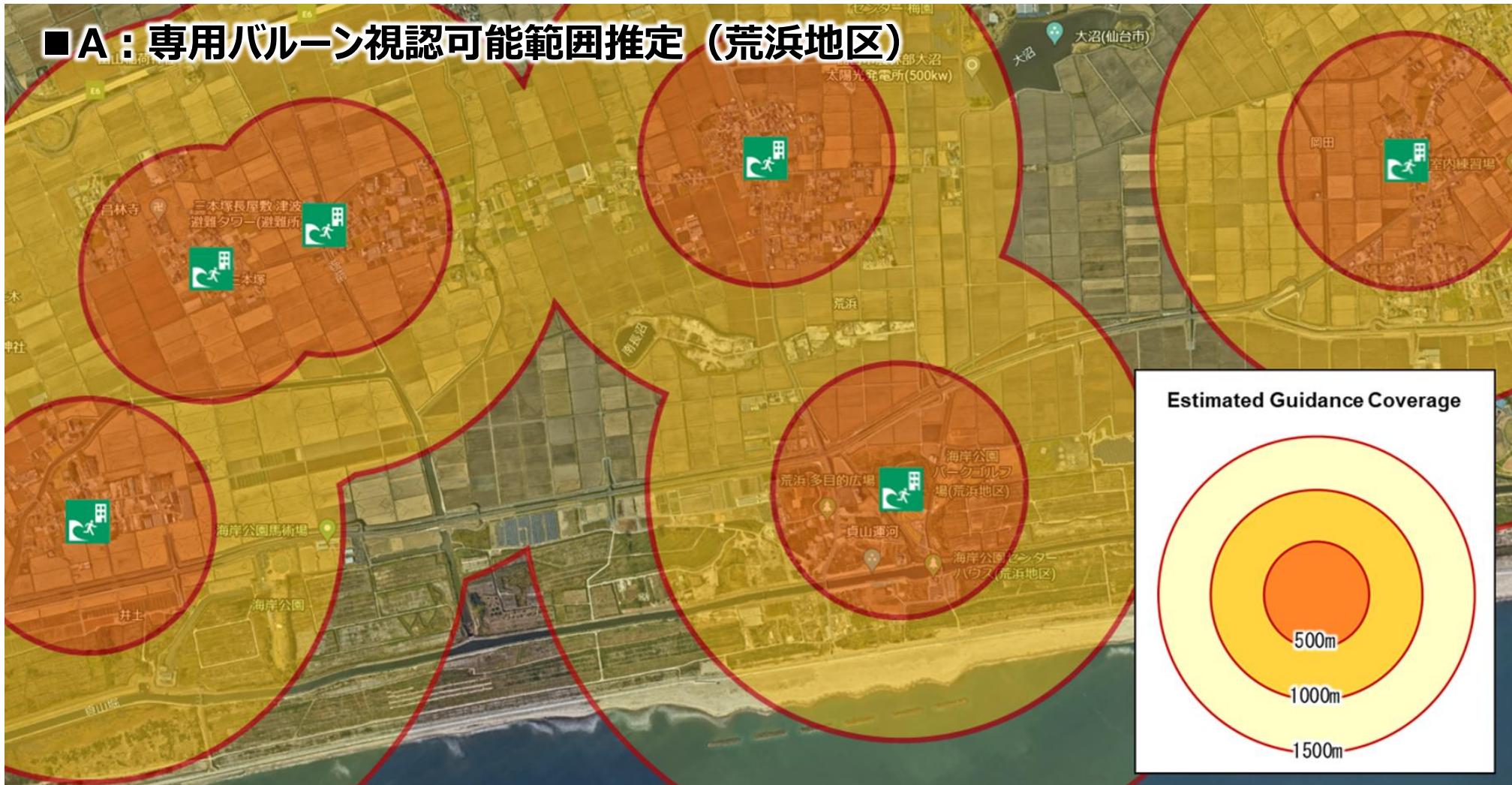
height	Noticeability					
	a= 500m		a= 1,000m		a= 1,500m	
	Visitors	Employees	Visitors	Employees	Visitors	Employees
Day-A: 45m	60.76	65.20	170.77	176.15	272.40	280.18
Day-B: 35m	67.96	66.14	156.06	211.90	230.79	353.97
Day-C: 25m	58.33	66.39	123.69	156.45	151.41	219.86

height	Readability					
	a= 100m		a= 200m		a= 300m	
	Visitors	Employees	Visitors	Employees	Visitors	Employees
Day-A: 45m	1.10	2.12	2.01	5.06	2.78	6.86
Day-B: 35m	1.40	2.27	3.10	6.39	4.08	9.61
Day-C: 25m	1.05	2.50	2.67	7.02	4.75	10.82

掲揚高度が高いほどバルーン本体の誘導力は高くなるが、
反対に垂れ幕の文字による誘導力は低くなる。

垂れ幕の文字に頼らない方法が望ましいと考えられる。
(風耐性も上がり、天候に強くなる。)

3. 実証実験結果



3. 実証実験結果

■B：運用・維持管理に関する検討

専用バルーンの概要

- ・ バルーン本体：半径2.2m、重量約3.1kg、塩化ビニル製
- ・ 垂れ幕：短辺90cm、長辺850cm、重量約1.0kg
- ・ 掲揚ロープ：40m、約0.6kg
- ・ ヘリウム：5.6 m³（1m³あたり約1kgの浮力、約5.6kg）

実験中のバルーン管理办法

- ・ 防風ネット：風除けにバルーン全体を覆う網を設置
- ・ 固定ネット：目の粗い網をバルーンに被せ8点を固定
- ・ 固定ロープ：バルーンと建物や重石をロープで直接固定
- ・ 重石：バルーンや網の固定に合計450kg以上を使用
- ・ モニタリング：遠隔で常時監視できるカメラを使用
(一部市町村では、条例でアドバルーンの掲揚には監視員をつけることが義務付けられているが、仙台市は義務付けられていない)

ヘリウムの補填

初回以降、1回の掲揚につき約0.4m³（購入金額約9,000円分）のヘリウムを補充した。8日間で、初回の充填（5.6 m³）と補充4回分（1.6 m³）の合計7.2m³分のヘリウムを使用した。



検討内容

本実証実験での保管方法では、強風時にはバルーン本体に大きな負荷がかかり、雨雪は凌げない手法だった。結果、1月下旬の寒波に伴う強風・降雪によりバルーンのガス封入口部分が破損し、ヘリウムガスの消費が進み、実験終了を早めた。（空気が混入し同一体積でも浮力が低下していた可能性もある。）

ガスを封入した状態での保管を前提とする場合、雨風を完全に防ぐ構造物の中で保管すればバルーンの消耗やヘリウムの消費の速度が抑えられたと考えられる。（消防法では、収容人数確保の観点から津波避難ビル等にそのような構造物等の設置が禁じられている。）

各実験のガス補充（約0.4m³分）は1~2分程度であったが、初回掲揚時のガス封入には15分程度時間を要した。緊急時に全くガスが入っていない状態から即座に封入する方法の場合、ヘリウム封入時間の短縮技術が求められる。

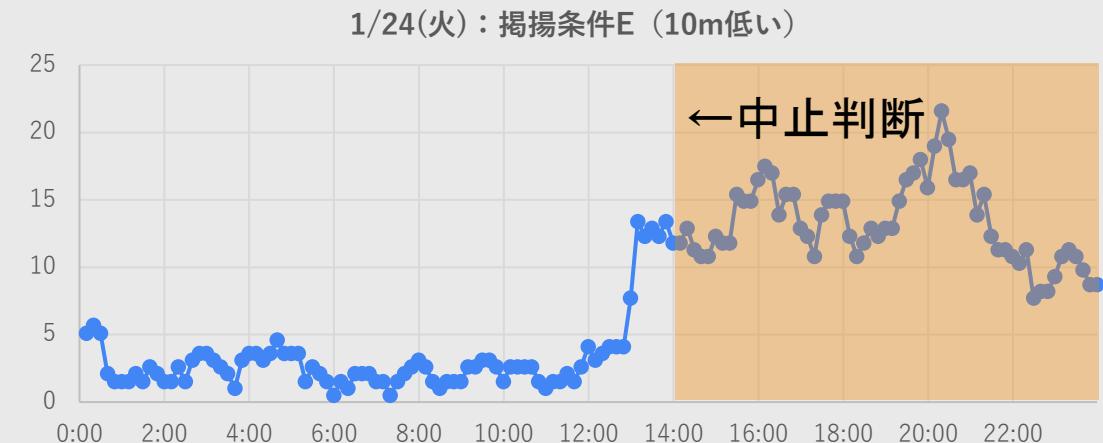
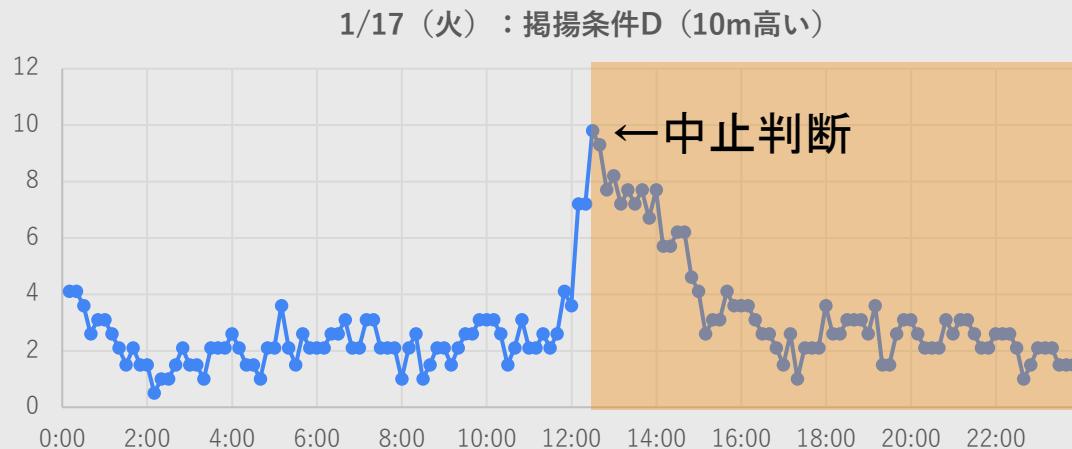
3. 実証実験結果

■ B : 風耐性

実験開始前の掲揚可否判断

実験予定日の2日前に天気予報アプリ（ウェザーニュース）で公表されている掲揚場所の風速が3m/s以下である場合に実施を決定した。

実験中に中止を判断した日の最大瞬間風速（アメダス名取市：10分ごと）



最大瞬間風速が約8~10m/sを上回ると掲揚が困難（傾きが45度を下回る）と推測される。

1か月（1月：風の強い季節）を通して最大瞬間風速が8~10m/sを上回る時間帯は13.6~22.3%

3. 実証実験結果

■課題

気象耐性



雨・雪・強風時には掲揚できず、常に機能するとは限らない。社会実装する上では、一定確率で機能しない可能性があることを許容する必要がある。

夜間対応



夜間でも目印として機能させるためには、内照式・外照式の照明や蓄光塗料を併用する必要がある。(内照式のアドバルーンは既に実用事例がある。)

自動化・無人化



津波警報等の発表をトリガーとして、自動・無人で機能するシステムを作る必要がある。既に気象用観測気球では導入例があるが、大幅なコストカットが必要。

ヘリウム不足



ヘリウムの100%を輸入に頼る日本は、世界的なヘリウム不足により必要量の確保が困難である。確保ができなければ、水素を安全に活用する技術が必要となる。

4. 今後の展開

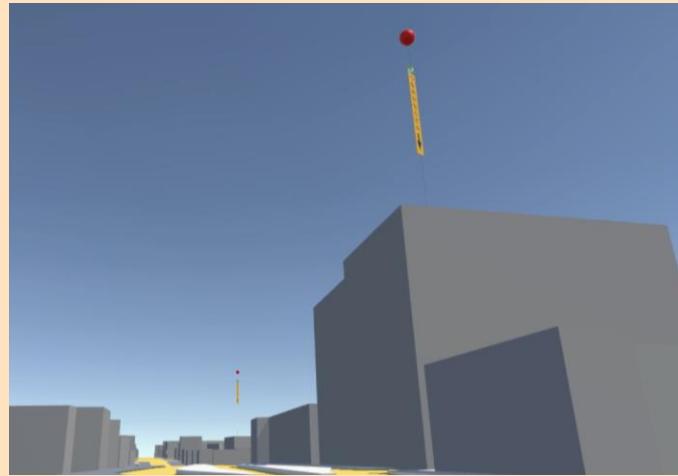
■社会実装・事業化に向けた可能性、今後の取り組み

追加実験



ヘリウムの必要量を大幅にカットできる特殊ゴム製バルーンや、ヘリウムを用いず送風機で高くまで立ち上げるバルーンを用いて、前項の課題の解決を図る。

VR実験



バルーンの視認性のみならず、バルーンが津波避難時の行動判断・避難時間に与える影響を分析し、社会実装の効果を明らかにする。

今後の活動

追加実験の結果、別タイプのバルーンでも一定の誘導力を確保できていれば、そちらの利活用が現実的であると考えられる。その場合は、それらの利活用と夜間対応（照明・蓄光機能の付与）に向けて着手する予定。

また、本実証実験では、防災の副次機能として「広告」を検討していたが、その他にも副次機能として成立するものを模索する。

一方で、前項で述べた課題のうち、自動化・無人化やヘリウム確保については一個人事業主として単独では解消できない。既に技術を持つ企業等との連携が不可欠である。

5. APPENDIX

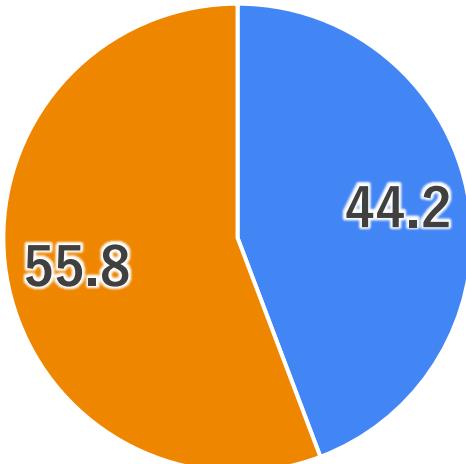
1月下旬の寒波の影響により平常時の広告利用を実施できていません。

当初検証予定だった「防災の副次機能による経済的持続性」は評価できていませんが、参考となりうる資料を添付します。

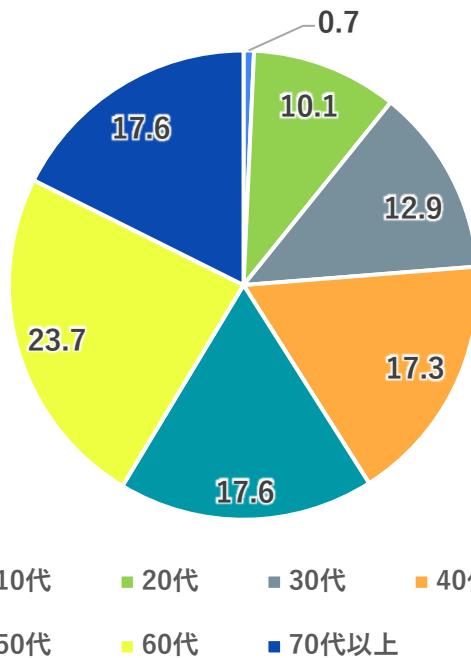
なお、次項以降は垂れ幕に「つなみぼうさいじつけん」と表記している場合のデータです。

1. 基本統計（性別・年代・交通手段・訪問回数）

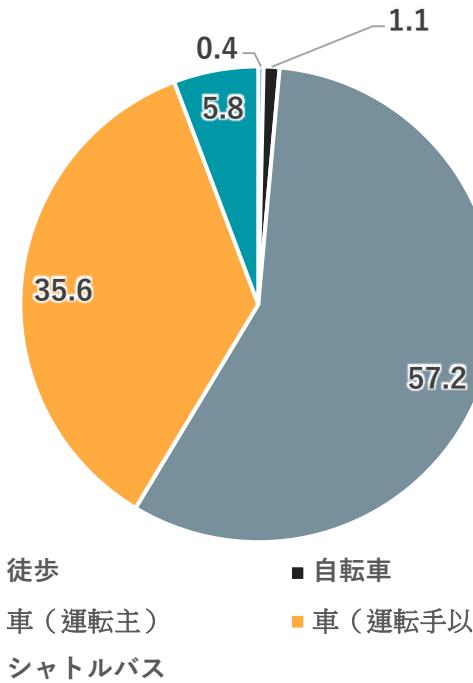
性別



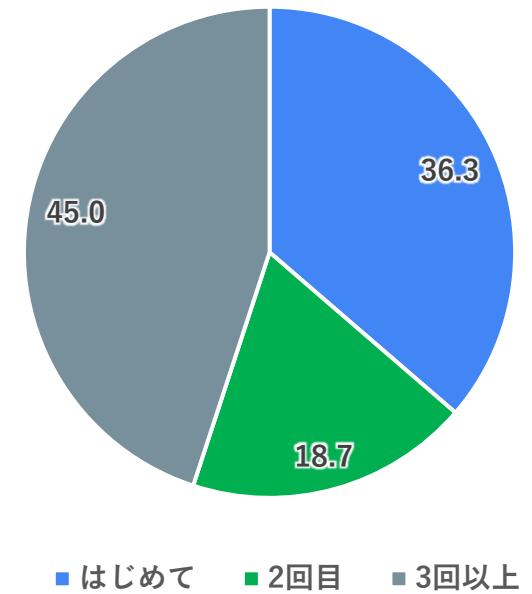
年代



交通手段



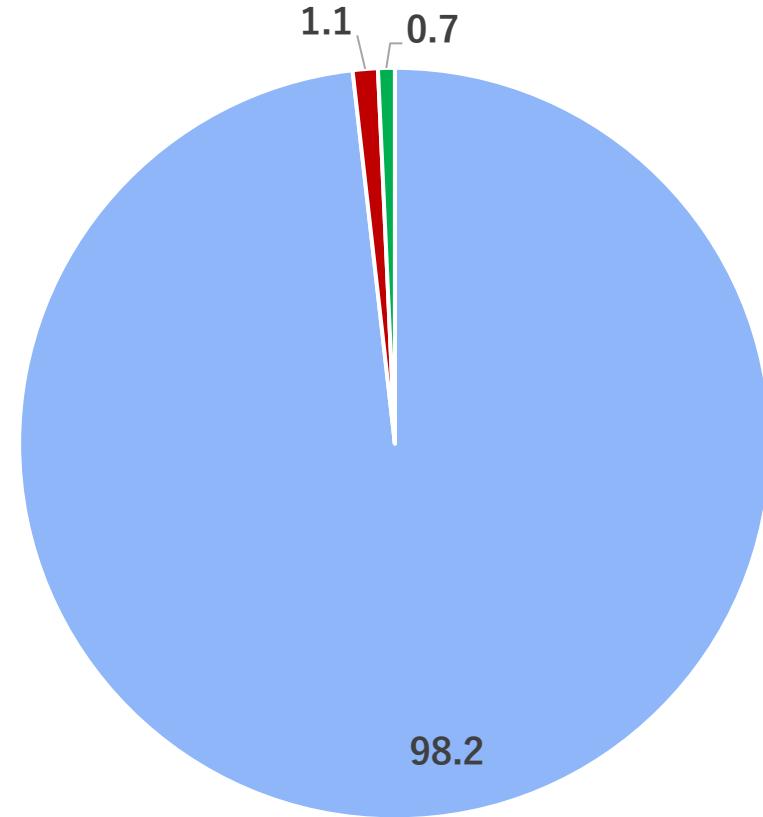
訪問回数



※5パターンの掲揚条件全ての集計結果です。 (総回答数 : 278)

2. 集客力

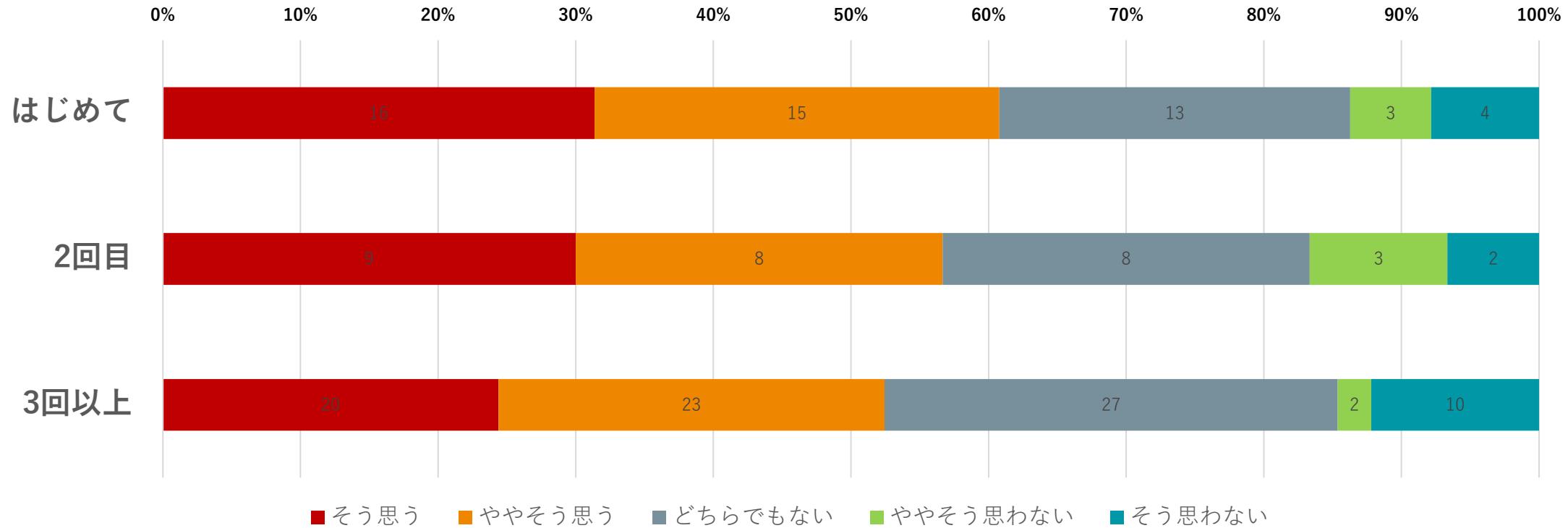
■ Q. アドバルーンはアクアイグニス仙台に来るきっかけになりましたか？ (%)



- きっかけはアドバルーンではない
- アドバルーンを見かけて来ようと思った
- 以前にアドバルーンを見て行こうと思った

3. 引導力

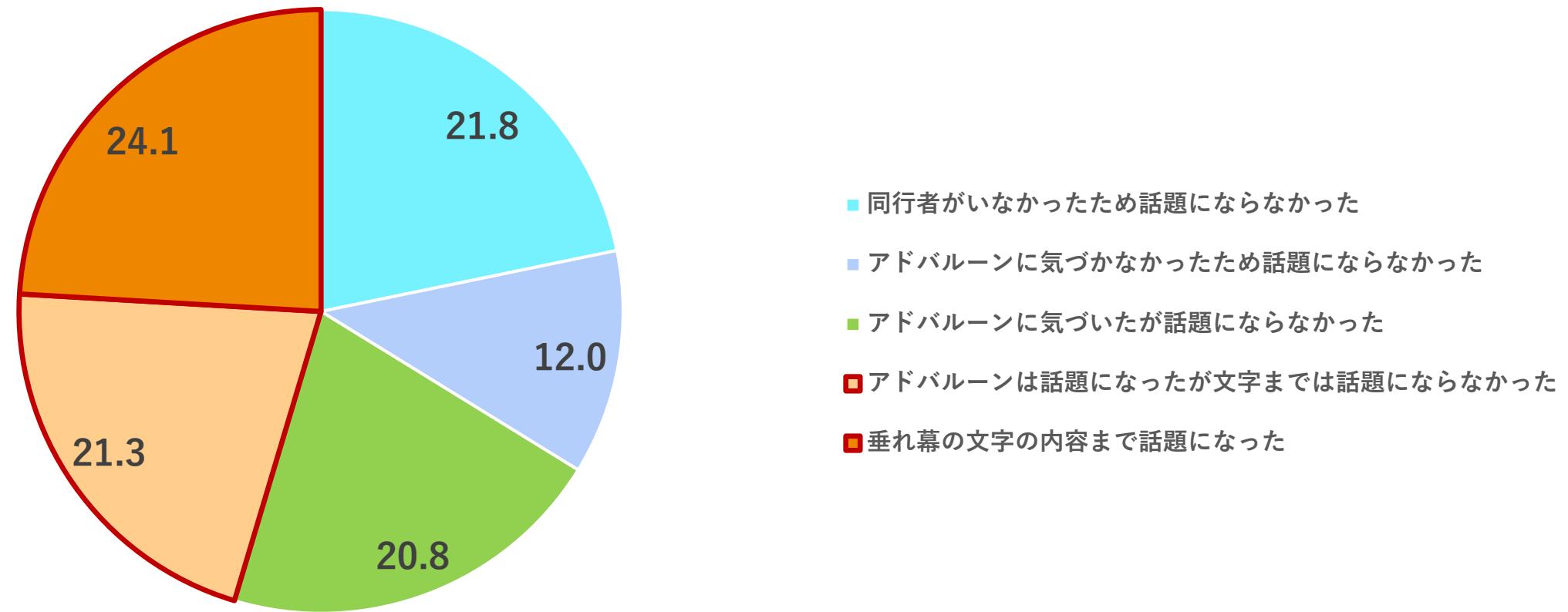
■ Q. アクアイグニス仙台を探す上で、アドバルーンは役に立ちましたか？



自らの意思で移動できる交通手段（歩行・自転車・バイク・車（運転手））で来た人を有効回答としています。
車（運転手以外）やシャトルバスで来た人は、集計に含んでいません。 (n = 163)

4. 話題性

■Q. アクアイグニス仙台に来るまでに、同行者とアドバルーンの話題になりましたか？
(垂れ幕なしで掲揚した際の回答者を除く：n = 216)



6. その他にいただいたコメント（抜粋）

- 文字は読めなかつたが、アドバルーンは子供（4歳）でも「あ！なんかある！」となつていた。（30代女性）
- 子供とアドバルーンの話になつた。子供の方がアドバルーンにわくわくするのだなと思った。（40代女性）
- 運転手は気づきづらいかも（20代男性）
- 昨日かわまちテラスからあがつてゐるのが見えたが、文字は読めなかつた。（60代女性）
- 昭和を思い出しました。（50代女性）
- 久しぶりにアドバルーンを見て何があるのか気になつた（60代女性）
- 何のバルーンだろう？と興味を持つきっかけになつた。（30代男性）
- 近くに来た時目印になって分かりやすかったです。（30代男性）
- 建物が地味なのでバルーンがいい目印になつてゐると思う。（40代男性）
- 文字の内容までは関心が向かなかつた。2～3倍大きければ関心が高くなるかも（40代男性）
- 何かのお祭りか売り出しかと思った（50代女性）
- アドバルーンが揚がつてゐること自体きづかなかつた。（40代女性）

THANK YOU!



SENDAI BOSAI TECH