

清水寺周辺地域における災害時避難の所要時間に関する考察

Required time for evacuation from disasters in areas around Kiyomizu temple

川崎 佑磨¹・大岡 優²・伊津野 和行³・小林 祐一郎⁴・久能木 慎治⁵

Yuma Kawasaki, Yu Ooka, Kazuyuki Izuno, Yuichiro Kobayashi and Shinji Kunogi

¹立命館大学助教 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Assistant Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

²立命館大学研究員/日本学術振興会特別研究員 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Research Fellow, Ritsumeikan University / JSPS, Research Organization of Science and Engineering

³立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

⁴三井不動産ファシリティーズ株式会社 (〒111-8605 東京都台東区蔵前2-6-7)

Mitsui Fudosan Facilities Co., Ltd.

⁵大和ハウス工業株式会社 (〒530-8241 大阪市北区梅田3-3-5)

Daiwa House Industry Co., Ltd.

Software countermeasures are especially important for mitigation of disaster due to post-earthquake fires at sight-seeing area, because hardware countermeasures are sometimes difficult to conduct at the beautiful location. Further, sight-seeing people are vulnerable during natural disasters, as they are not familiar with the location and don't know where to evacuate. This paper conducted numerical simulation on the evacuation activities of sight-seeing people from post-earthquake fires at Kiyomizu temple in Kyoto. Required time for evacuation and countermeasures to reduce evacuation time are discussed. This study also dealt with the universal design for disaster mitigation at the same area. It is important to show the refuge routes intelligible for everyone when a disaster occurs.

Keywords : *vulnerable people, sightseeing place, multi-agent simulation, universal design*

1. はじめに

京都の清水寺は、これまで何度も地震や火災による被害を被ってきた。京都など歴史都市の観光地においては、歴史的景観を守る為にハード面の防災対策が難しい場合があり、ソフト面の防災対策が特に重要となる。また、土地勘が無く、避難場所や避難経路がわからない観光客が多数存在するため、災害が発生して避難しなければならなくなった際に、混乱が発生する可能性は否めない。土地勘のない人でも、災害時に迅速かつ安全に避難ができるような避難計画を作成することが重要である。

清水寺周辺地域において、一斉に観光客が逃げるような災害としては火災が考えられる。特に地震後の火災では、消火までに時間がかかる。地震で建物が倒壊し、逃げるための道幅が狭くなることも考えられる。余震が続く中で火災の発生を知れば、その場所にとどまると身に危険が及ぶと人びとに認知され、多くの観光客が逃げようとするのが想定される。清水寺周辺地域は、年間400万人以上の観光客が訪れる全国でも有数の観光地である。歴史都市・京都の山麓にあり、道は狭く坂道が続いている。多くの観光客が逃げる事態になれば、混雑が発生する可能性があり、どの程度の時間で全員を逃がすことができるのか、ある程度予想して対策を立てておくことが重要だと考えられる。

本研究では、清水寺周辺地域において、観光客が一斉に逃げる場合に、どの程度の時間が必要となるか、数値シミュレーションにより検討することとした。さらに、逃げる際に役立つ避難誘導案内板のあり方についても考察した。

2. 避難シミュレーション・モデル

本研究では、群衆の避難を模擬するためにマルチエージェント・シミュレータ *artiso*¹⁾ を用いた。各エージェントは設定されたルールにより行動する。本研究では、避難する観光客1人1人をエージェント（観光客エージェント）としてモデル化し、設定したゴールへ向かわせた。

避難者の移動に関しては、設定した道の分岐点をチェックポイントとして次々に目指すことによってゴールへ向かうというアルゴリズムを用いた。分岐点における経路選択は、過去の調査結果²⁾をもとに経路選択確率を設定し、乱数によって次の経路を決定した。経路選択確率は必ずゴールへ近づくように設定してあるため、その意味では対象地域全体を予め知っているエージェントを使ったシミュレーションになっている。

また、避難路を形作るため道の両脇を動かないエージェント（道エージェント）でモデル化し、観光客エージェントが道から外へ出ないようにした。道エージェントは1辺50cmの正方形とし、これを隙間無く並べることにより、道を形作った。観光客エージェントは基本的に次の分岐点への最短距離を進むが、道エージェントに出会うと、その方向を記憶してそちらへは向かわないようなルールを設定したため、結果として道に沿って避難することになる。

図1が本研究の対象地域である。図1中の「仁王門」から右（東）側が清水寺の境内であり、「本堂」が清水寺本堂の位置である。参拝客は、公共交通機関を利用する場合には、図1左端の「東大路」にあるバス停から徒歩で五条坂・松原通、もしくは茶碗坂を通して清水寺に至る人が多い。観光バスやタクシーを利用する場合は、図1の「駐車場」（京都市営清水坂観光駐車場）から松原通を通して清水寺に至ることが多い。

そこで、この地域の道を図2のようにモデル化した。道の両側に道エージェントを並べてある。図中、赤丸で示した点が設定されたゴールであり、それぞれ東大路（図2の左端）や市営駐車場の出入り口（その他の3点）である。ゴールの設定にあたっては次の3点を考えた。

- 1) 避難場所や避難経路を知らない可能性が高い観光客は、避難にあたって来た道を引き返すことを想定した。観光バスやタクシーで来た人は車を降りた市営駐車場を目指し、公共交通機関で来た人は市バスを降りた東大路を目指すものとした。
- 2) 市営駐車場も東大路も十分なスペースがあり、ここまで避難できれば一時的にせよ避難者の安全が確保できるものとした。
- 3) この周辺の広域避難場所である円山公園は1.5km離れており、途中に狭い階段のある産寧坂を通る必要もあり、避難までに時間がかかる²⁾。ここでは広域避難場所までの避難は考えず、一時避難のみを対象とした。そのため地域のモデル化にあたっては、産寧坂から円山公園へ向かう道は考慮しなかった。



図1 対象地域（Google Mapに加筆）

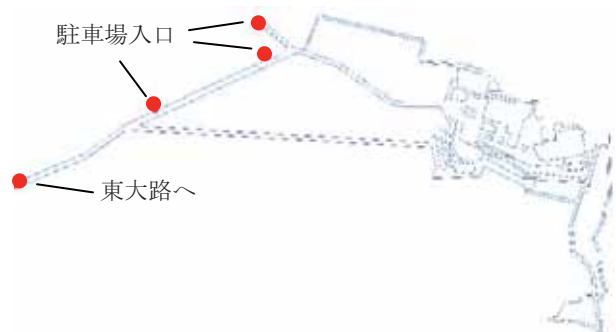


図2 シミュレーション・モデル

避難者の人数および初期配置場所については、観光シーズン休日の正午過ぎ（2010年10月）に実測した表

1に示すデータ²⁾を元にした。この数字より少し多めに見積もって、3500人を各所に配置し、一斉に避難を開始させた。移動速度は、内閣府中央防災会議資料³⁾をもとに、混雑度合いに応じて図3の値を設定した。図3の設定理由として、内閣府防災会議資料では次のように述べられている³⁾。まず、混雑度1.5人/m²未満の場合は、一般に自由歩行が可能とされていることから、歩行速度は一定の時速4000mとされている。混雑度1.5人/m²以上6人/m²未満の場合には、混雑度の増加に伴い時速4000mから400mに直線的に低下すると仮定されている。そして、混雑度が6人/m²前後になると、移動可能な混雑度としては限界に達すると考えられている。ただし、まったく動かないと仮定するとシミュレーションが進まない場合が生じるため、通行する容量が一定となるよう混雑度に反比例して速度が低下する式が設定されている。

表1 人数の調査結果²⁾

場所	人数(人)
奥の院	155
清水寺本堂	366
地主神社	58
音羽の滝	381
子安の塔	11
仁王門	168
清水坂	1,163
茶碗坂	292
五条坂	237
駐車場入り口(東大路側)	69
駐車場入り口(清水坂側)	29
合計	2,927

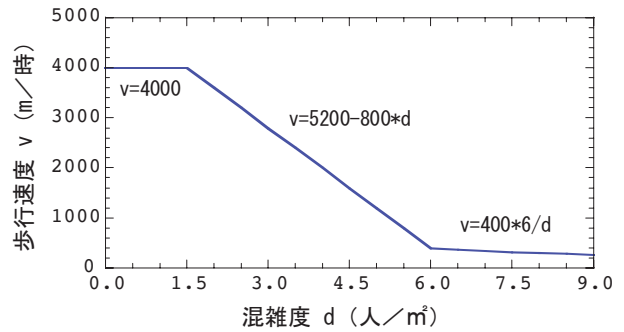


図3 混雑度による歩行速度の変化³⁾

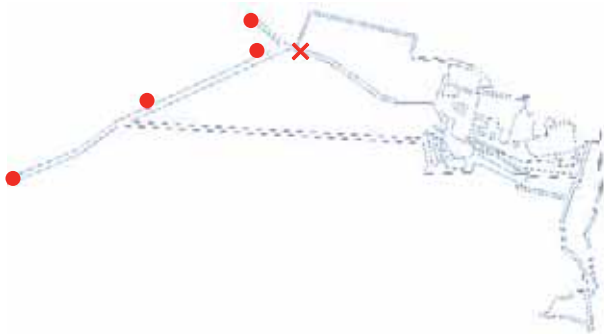


図4 松原通の西端が通行止めのケース

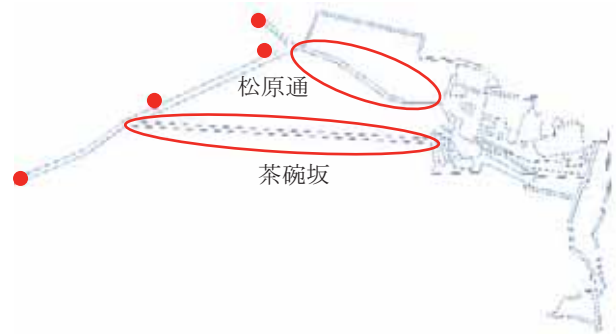


図5 松原通と茶碗坂の通行可能性が減るケース

解析ケースとしては、①障害がないケース、②松原通の五条通との合流点付近(図4の×印)が火災等で通行できず、避難者が迂回するケース(グラフでは「迂回」と表示)、③障害がなければ道幅に応じて横に5~6人並んで通れるのに対し、家屋倒壊等により、松原通と茶碗坂(図5の○で囲った道)が縦一列に並んでしか通れないケース(グラフでは「通行困難」と表記)、④上記②と③の組み合わせ(グラフでは「迂回+通行困難」と表記)、の4通りを考えた。エージェントを迂回させる場合、通行不能場所にチェックポイントを設け、そこへ到達したエージェントはすべて元の道へ引き返して、さらに二度と同じ経路を通らないようなアルゴリズムを用いた。

3. シミュレーション結果

結果のグラフを図6および表2に示す。障害がない場合、18分で避難が完了した。全員の避難完了に要する時間を比較すると、迂回が発生することで障害のない場合より4分遅れ、通行が困難になれば障害のない場合より6分遅れた。迂回と通行困難とが両方発生すると、障害がない場合に比べて15分ほど避難完了が遅れ、全体で約30分を要した。特に、避難開始後15分ほどは、わずかな人数しか避難完了できなかった。

迂回が発生する場合と通行困難になる場合を比較すると、全員の避難完了時間は通行が困難になった方が

遅い。しかし、途中の避難状況は迂回が発生することの方が遅い。迂回が発生することにより、図7に赤で示す箇所（仁王門前の広場から茶碗坂へ降りる階段付近）で大きな混雑が発生した。松原通を引き返してくる避難者と、図の右半分に位置する清水寺境内から避難してくる人とが、この場所で合流するためである。図8に当該箇所（図7の赤で示した箇所）における避難者数の時間推移を示す。

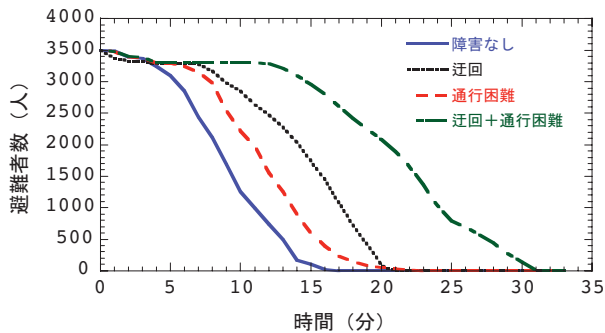


図6 避難完了時間の比較

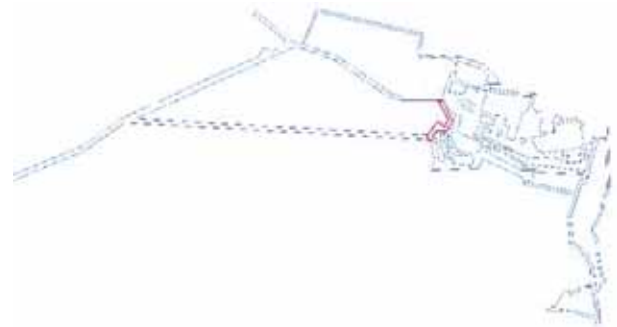


図7 混雑発生箇所

表2 避難完了時間と避難完了人数の時間経過

	避難完了時間	5分経過時	10分経過時	15分経過時	20分経過時	25分経過時
①障害なし	17分34秒	408人	2241人	3401人	3500人	
②迂回	21分44秒	213人	650人	1754人	3422人	3500人
③通行困難	23分49秒	201人	1282人	2902人	3448人	3500人
④迂回+通行困難	32分20秒	196人	196人	544人	1422人	2707人

当該箇所は障害のない場合でも一時期300人ほど滞留することになり、階段もあることから十分な注意が必要な場所である。平時においても、観光客が仁王門をバックに写真撮影を行う等、混雑が慢性化している。通行止めによる迂回が発生した場合、松原通のどこから引き返してくるかによって、混雑度が異なった。全員の避難完了時間は、全員が図4に×印で示した箇所まで行って引き返す場合がもっとも長かったため、前出の図6にはこの「端から引き返す」ケースを示した。当該箇所の混雑度は、図8の「端から引き返す」というグラフになり、障害のない場合の1.5倍以上の500人ほどが滞留することになる。しかも、混雑する時間は5分以上続き、避難開始後4分と10分に2つのピークが生じた。しかし、図7の箇所がもっとも混雑したのは、全員が×印よりも東側の松原通中程で引き返すケースであった。図8では「途中で引き返す」というグラフになり、当該箇所に1000人以上が滞留することになった。

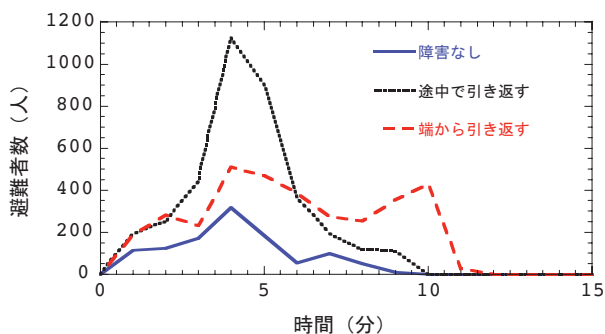


図8 混雑箇所における避難者数の推移

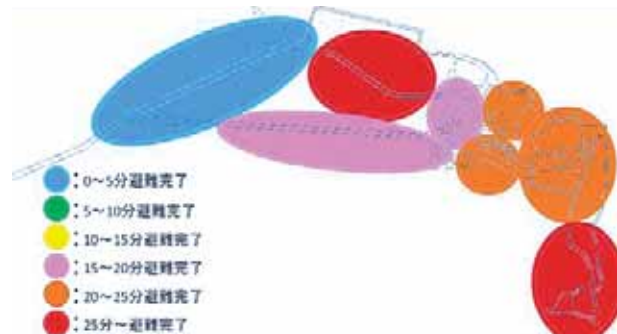


図9 避難完了時間別の避難者の初期位置の分布

このように、どこから引き返してくるかによって混雑度が異なったのは、最初松原通にいて仁王門付近に引き返してきた避難者と、最初清水寺の境内にいて仁王門付近へと移動してきた避難者とが合流するためである。全員が松原通の中程で引き返した場合に、ちょうど合流人数がもっとも多くなるため、図8のような結果になった。対象地域特有の条件により、このような現象が生じたものと考えられる。

図9に、④の迂回と通行困難が両方生じた場合、最初どの場所にいた避難者の避難がもっとも遅れるかを

示した。障害がない①の場合は、ゴールからもっとも遠い図の右下、子安塔付近にいる避難者の避難完了が最後になる。図9に示す④の場合にも、同じく子安塔付近にいる避難者の避難完了が遅れることがわかる。また、松原通にいた避難者も、迂回が必要になるため避難完了は遅れる。

4. 改善策について

前章の結果より、清水寺境内にいる人の避難を早めることが、全体の避難完了時間の短縮につながるということがわかる。清水寺には東南端にある子安塔の奥に、五条通方面につながる門（図10の赤丸）があり、平常時は閉鎖されている。救急車などのみを通行させる門である。この場所まで来ればある程度のスペースがあり、一時的にせよ避難者の安全が確保できるものと考えた。ここを利用した場合の避難完了状況を図11に示す。境内にいる人は図10の出口へ向かわせ、その他の人を図3のゴールへ向かわせるケースを、グラフでは「2方向」と表示した。松原通と茶碗坂の通行が困難になった場合でも、図10の出口を利用することにより、障害がない場合とほぼ同じ時間で避難完了させることができた。非常時には門をなるべく早く開けた上で、適切な避難誘導をすることが重要になる。

しかし、松原通での迂回が発生した場合、半数の人は避難開始後5分程度で早期に避難させることができたが、残りの人の避難には2方向避難にしても効果がなく、「迂回+通行困難」と「迂回+通行困難（2方向）」のグラフは横軸25分以上に対して重なる結果となった。これは、松原通を引き返して来た避難者を、通行困難な茶碗坂へ向かわせたことによる。仁王門前広場における適切な避難誘導と、松原通から産寧坂など他方へ向かわせる工夫とが必要になる。

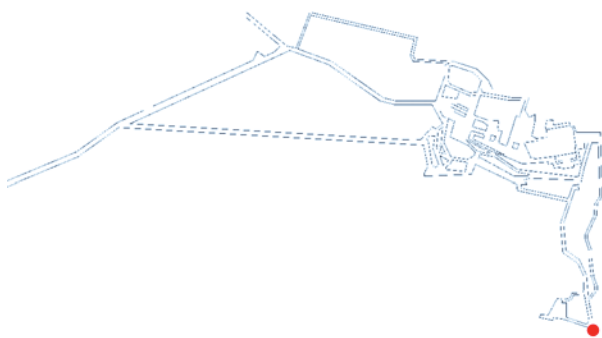


図10 子安塔の奥にある出口

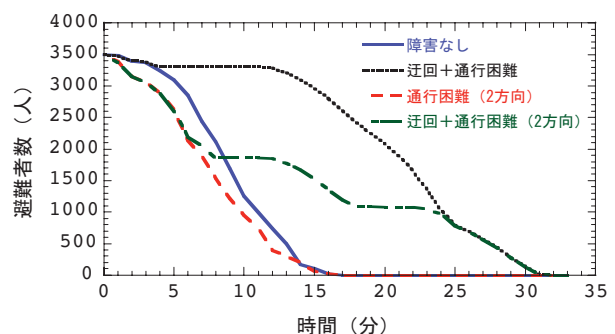


図11 2方向避難の効果

避難誘導において、アナウンスとともに重要なのが看板等の避難誘導サインである。しかし、対象地域における避難誘導サインは、必ずしも十分なものとは言えない。著者らの調査では、防災に関連した案内板はほとんどなかった⁴⁾。清水寺境内にある48の案内板のうち、災害時にどこへ避難すればよいのか記載されているのは、広域避難場所を地図に示してある1つだけであった。また、日本語の他、英語・中国語・韓国語が併記されているものが15%、日本語と英語のみが記されているものが8%と、外国人観光客が多い地域の案内板としては不十分な面もある。さらに、歴史的地域として景観に少しでも配慮されているものが15%と少ないのも課題として挙げられる。

よって、対象地域における避難誘導案内板のサインデザインとして、図12および図13を考えた。制作にあたっては、次の項目に配慮した。

- 1) 通常の観光案内等とともに、避難場所の方向・距離を記載。
- 2) ピクトグラムで地震や火事などの災害を表現。トイレや建物などもピクトグラムを使用。
- 3) 日本語と英語の2言語で表記。
- 4) 避難誘導に用いる字体は、避難指示等で一般的に使用されるゴシック体を使用。通常の案内部分は、他の案内板での使用が多い明朝体を使用。
- 5) 避難誘導に用いる色彩は、JIS規格⁵⁾によって定められている避難の意味を持つ緑色と白色を使用。現在位置の表示には赤色を使用。
- 6) 観光案内等の表示部は、コントラストが大きくて見やすいことと景観とに配慮して、焦げ茶色と白色を

使用。

7) 各寸法は、近距離視認型サインの設置範囲例⁶⁾をもとに決定。



図12 案内板サインデザイン例

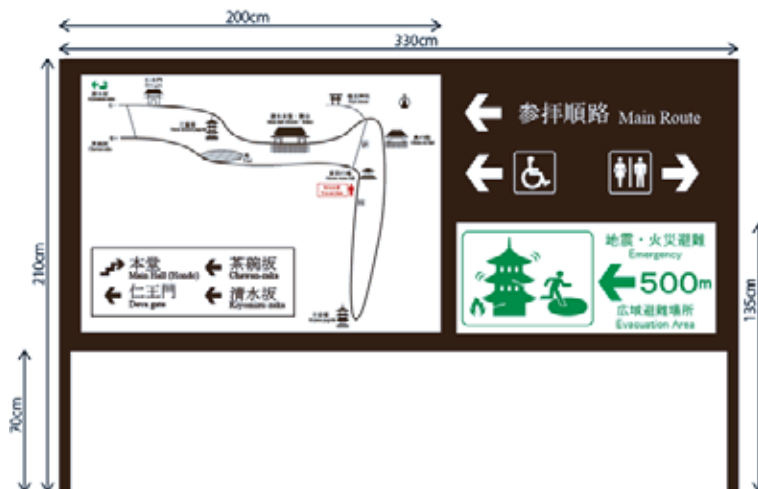


図13 地図との組み合わせ例

3章に示したシミュレーションにおいては、経路選択確率を調査結果に基づいて設定していたため、必ずしも最適な経路選択とはなっていない。避難誘導を目的とした案内板が皆無に近い現状に対して、どこへ向かえばよいのか示す案内板を設置することにより、最適な経路選択をする確率を向上させることにつなげられると期待される。ここで示したサインデザインがどの程度効果的かは、アンケート調査等で確認していく必要があり、今後の課題としたい。

5. おわりに

本研究では、清水寺周辺地域を対象として、観光客が避難するのに要する時間と、それを短縮する方策について考察した。本研究で想定した条件下において3500人の人を当該地域から一斉に避難させた場合、全員が避難完了するまで、途中で障害がなければ15分、迂回や通行困難な箇所があれば30分は必要になった。これはいわゆる「想定内」の条件下でのシミュレーションであり、それでも観光客を避難させるのに30分はかかる場合があるということ considering、災害時の対策を計画することが重要である。少なくとも30分は多数の観光客が現場に存在する状況下における、災害時マネジメントについて検討していくことが必要である。

謝辞：本研究の実施にあたっては、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「文化遺産を核とした観光都市を自然災害から守るための学術研究拠点」の助成を受けた。また、サインデザインの作成にあたっては、関西学院大学総合政策学部の八木康夫教授の助言を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 構造計画研究所：artiso 3.0ユーザーマニュアル，2011.
- 2) 伊津野和行・小林祐一郎・近藤智・久能木慎治・崔青林：観光地における地震火災からの避難に関する基礎的検討，第31回土木学会地震工学研究発表会，Paper No. 4-027，6 pages，2011.
- 3) 内閣府中央防災会議：帰宅行動シミュレーション結果について，首都直下地震避難対策等専門調査会報告・参考資料，2008.
- 4) 久能木慎治・伊津野和行・八木康夫：観光地における防災ユニバーサルデザインに関する考察，歴史都市防災論文集，Vol. 6，pp. 369-376，2012.
- 5) 日本規格協会：JIS Z 9104 安全標識 一般的事項，2005.
- 6) 標準案内用図記号研究会：ひと目でわかるシンボルサインー標準案内用図記号ガイドブック，交通エコロジーモビリティ財団，2002.