



2に示している。

平成 26 年 3 月の白杵市防災会議において、南海トラフ巨大地震による被害の想定は、最大震度 6 強、白杵川河口で最大津波高さ 5.75m、1m の津波到達時間 58 分、最大津波到達時間 65 分であり、死傷者が 4,657 人と甚大な被害をもたらすものとなっている。平成 26 年 1 月 1 日に公開されている白杵市の津波避難マップにおいて、対象地区の 10m を超える避難場所は、白杵公園と二王座公民館を含む複数の避難場所が存在する。

### (2) アンケート調査内容と結果

白杵小学校に通う児童の保護者を対象に 2014 年 10 月 23 日から 11 月 5 日にかけて「災害発生時における行動や意識に関するアンケート」<sup>注5)</sup>を実施した。アンケート内容では、保護者の年齢や災害時に子供を捜しに行くか否か、災害時における白杵公園以外の一時避難場所などを質問項目として調査を行った。回答者では、保護者の年齢階層は 40 代 (60 名) が最も多く、次に 30 代 (43 名) が多かった。結果として、「子供を捜しに行く」保護者の割合が 45.1% (51 人) であった。災害時における白杵公園以外の一時避難場所では、複数の避難場所が挙げられたが、当該地区に含まれる標高の最も高い避難場所は二王座公民館であった。

表 1 アンケート調査結果の一部

年齢	19歳以下	20～29歳	30～39歳	40～49歳	50～59歳	60～69歳	70歳以上	計
回答者数(人)	1	7	43	60	5	-	-	116
回答者数の割合(%)	0.9%	6.0%	37.1%	51.7%	4.3%	-	-	100.0%
Q. 子供を捜しに行く	はい	いいえ	わからない					計
回答者数(人)		51	29	33				113 <sup>注6)</sup>
回答者数の割合(%)		45.1%	25.7%	29.2%				100.0%

### 3. 2 シミュレーションの基本的な考え方

本研究では南海トラフ巨大地震を想定した津波からの避難シミュレーションを行う。日常生活において、自然災害はいつ起きるかわからないものである。しかし、災害時に避難する上で自身の所在や状況から避難場所を選択する必要がある。地震発生時において、すぐに避難することは重要であり、避難開始時間によっては避難場所の選択肢が増えるのではないかと考えられる。また、東日本大震災においても標高の高い場所に避難したという事例が多く存在していることから、避難シミュレーションを行うにあたり、避難者は津波から逃れるために迅速な避難を行う必要があるとともに、避難目的地までの最短距離を認知し、標高が比較的高い避難目的地に向かう必要があると考えられる。

### 3. 3 津波避難シミュレーションの構築の概要

エージェントの初期配置は、地図上の交差点または屈曲点にノードを設定し、ノード間をリンクさせる。地震発生時の住民の所在地は把握できないため、ノード上にランダムでエージェントを配置する。配置したエージェ

ントに年齢階層別の移動速度を与える。移動速度は、田中ら<sup>5)</sup>と国土交通省<sup>6)</sup>より東日本大震災で得た実態調査を基に設定する。図 2 より、エージェントが避難目的地に移動する上で、大畑ら<sup>2)</sup>の基本行動ルールを基にエージェントの初期配置から避難目的地まで移動するルールを設定している(図 2-I)。また、現在ノードから避難目的地である避難場所が 2 地点存在する場合、現在ノードから避難目的地の直線距離を結んだ時の小さい値の方向へ進行する(図 2-II)。この 2 つの避難行動ルールより、最短距離で避難目的地に向かうものとする。保護者の避難行動においては、ランダムに移動後、一定時間に達したときに避難行動ルールにしたがって移動を行い、避難目的地に向かうものとする。シミュレーションは、すべてのエージェントが避難目的地に到達したときに終了とする。また、地震発生から 1m の津波が到達する時間(58 分)までに避難が成功した者を避難完了者とする。

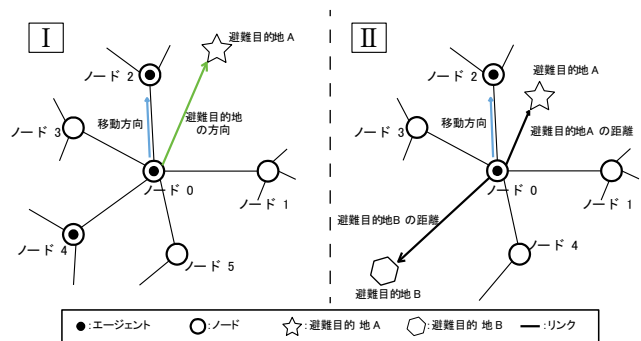


図 2 エージェントの基本行動ルール

### 3. 4 津波避難シミュレーションの前提条件

#### (1) エージェント(住民と保護者)の初期配置と属性

エージェントの初期配置の範囲は前掲図 1 に示す。保護者のエージェントの初期配置に関しては、小学校区(一部を除く)としている。また、図 1 の初期配置の境界線(西海添から南北に伸びる道路と本町の中央通り商店街の通り)より南に所在する住民は、二王座より低い白杵公園に避難するとは考えにくいことから、十分に避難ができるものとし、エージェントの初期配置対象外とする。

表 2 より年齢階層別に住民数と保護者の人数、移動速度を設定<sup>5)6)</sup>した。災害発生時、必ずしも当該地区に保護者が 2 人いるとは限らない。また、保護者の所在地の把握が困難である。そこで、保護者の最大人数において災害を想定し、当該地区の保護者の世帯数が 120 世帯であったことから、当該地区の保護者の人数を 240 名とした。

表 2 年齢階層別人口と保護者の人数、移動速度

年齢	19歳以下	20～29歳	30～39歳	40～49歳	50～59歳	60～69歳	70歳以上	計(人)
移動速度(m/s)	1.0	0.71	0.73	0.58	0.87	0.68	0.66	-
保護者数	1	9	57	79	7	0		153
大字白杵の人口	679	291	463	442	483	602	866	3,826
大字二王座の人口	87	46	58	61	78	107	164	601
計(人)	766	337	521	503	561	709	1,030	4,427

また、アンケート調査における「子供を捜しに行く」保護者の人数は、表1中の「わからない」(33人)を「はい」(51人)と「いいえ」(29人)の構成比(それぞれ67.3%, 32.7%)から案分し、当該地区の保護者の人数(240名)に乗じて、「子供を捜しに行く」を153名とした。年齢階層別の保護者の人数に関しては、アンケート調査における回答者総数に対する年齢階層別の回答者数の割合を保護者の人数に乗じて設定した。

### (2) 避難パターンについて

次の2つの避難パターンを検証する。避難パターン①では、避難目的地を臼杵公園と二王座公民館の2地点とした。避難パターン②では、避難目的地を二王座公民館の1地点とした。具体的な避難行動を示すことは困難であるため、各避難パターンに対する避難開始時間の遅れの設定を文献7)を参考に、地震発生後20分を基準に±10分として設定<sup>注7)</sup>した。地震発生直後を(A)、地震発生後10分を(B)、地震発生後20分を(C)、地震発生後30分を(D)とする。また、避難開始時間の遅れの要因は「災害時の持ち出し品の準備」や「避難警報が鳴り始めてから、災害時の持ち出し品の準備」、「親族と連絡を取った後」、「子供を捜しに行く」などが考えられる。

### (3) 保護者の避難行動について

アンケート調査より、「子供を捜しに行く」という回答

では、全体の半数以上を占めていることから、実際の避難行動に及ぼす要因として考えられる。したがって、保護者の避難シミュレーションにおいては、「子供を捜しに行く」という避難行動を反映させる。また、避難開始時間の遅れの設定(地震発生直後を除く)は、住民と保護者の比較を行うため、地震発生後20分を基準に±10分とした。

### 3. 5 避難シミュレーションの結果と考察

前提条件をもとにシミュレーションを行い、住民と保護者の各避難パターンに対して、避難開始時間の遅れを考慮した年齢階層別の避難完了人数、避難完了時間を集計するとともに避難困難者<sup>注8)</sup>を算出した。今回はシミュレーションを20回実行し、その平均値を算出した。住民の結果を図3に示し、保護者の結果を図4に示す。

住民の避難パターン①(A)においては、避難困難者が0名であった。また、住民の避難パターン②(A)においては、避難困難者が5.0%以下であった。このことから、地震発生直後の避難開始の有効性が示されたものと考えられる。したがって、避難パターン①(A)と避難パターン②(A)の結果については割愛した。

そこで、避難開始時間の遅れを各避難パターン(B)から10分間刻みに比較を行う。

#### (1) 住民における各避難パターンの結果

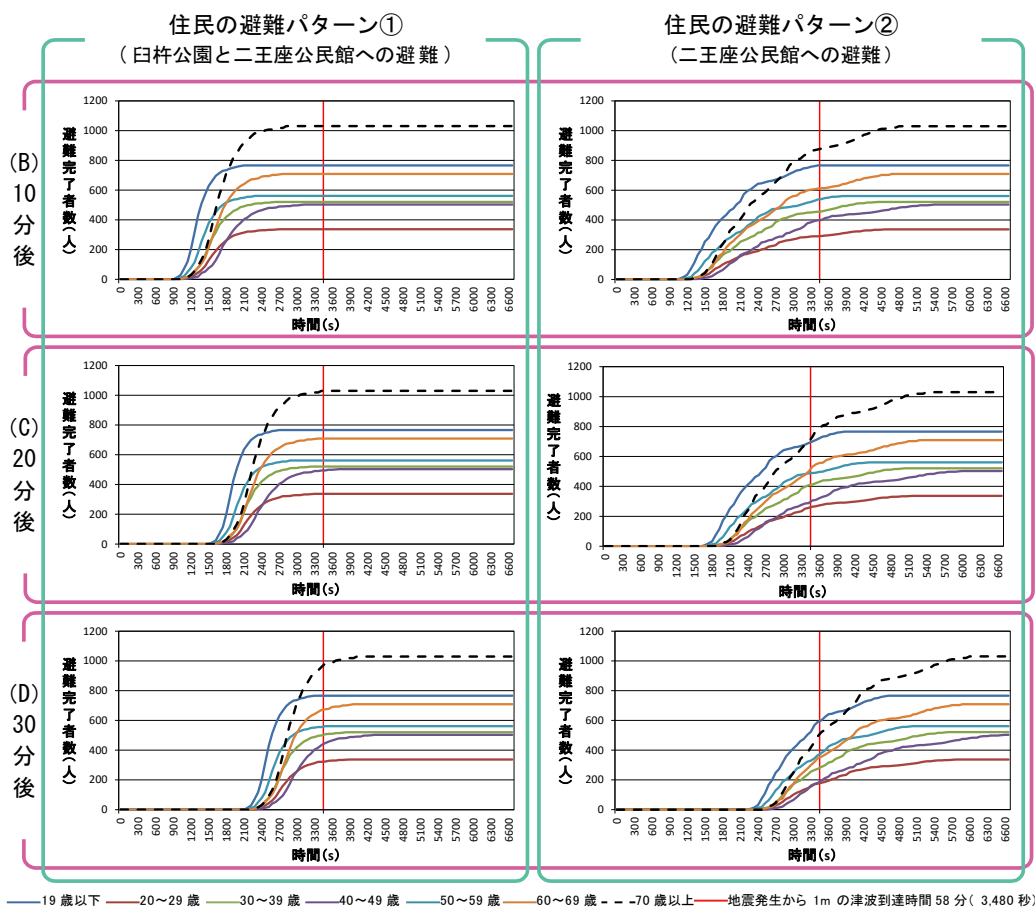


図3 住民の年齢階層別避難完了者数(シミュレーション結果)

避難パターン①(B)においては、すべての住民が避難することができた。しかし、避難パターン②(B)では住民の10.8%(479名)の避難困難者が発生した。その内、70歳以上の住民が最も多く、避難困難者に対して31.5%(151名)を占めていた。この結果から、地震発生から早期に避難を行うことで、被災を防ぐことがわかった。しかし、住民の所在する位置によって、避難場所から遠いと早期の避難を行っても避難遅延者になりうるということがわかった。避難パターン①(C)においては、住民

の0.2%（9名）が避難困難者となった。その内、すべての避難困難者が40~49歳であった。一方で、最も早く避難が完了した住民は19歳以下であり、地震発生から45分後（2,700秒後）に避難が完了した。また、70歳以上の住民に関しては、1mの津波到達時間まで残り1分の時点で避難が完了しており、余裕のある避難とは言い難い。

避難パターン②(C)では、住民の22.5%（997名）が避難困難者となった。その内、70歳以上の住民が最も多く、30.2%（301名）が占めていた。

避難パターン②(A)および(B)においては、19歳以下の避難困難者が発生しなかったが、避難パターン(C)では避難困難者が発生しており、最も移動速度の速い19歳以下の住民であっても避難困難者になりうるということがわかった。

避難パターン①(D)においては、住民の3.7%（165名）が避難困難者となった。その内、40~49歳の住民が最も多く、避難困難者の33.3%（55名）を占めていた。

避難パターン②(D)では、住民の43.0%（1,903名）が避難困難者となった。その内、70歳以上の住民が最も多く、避難困難者の26.7%（508名）を占めていた。

この結果から、避難困難者数の割合は、最も高い年齢階層において、各避難パターンで異なっていた。この理由

としては、避難場所までの距離や年齢階層別の移動速度、住民の人数が異なっていることが要因と考えられる。移動速度の最も速い19歳以下の住民をみると、住民の3.7%（165名）が避難困難者となることがわかった。住民全体の避難困難者の割合は、低い割合であるが、甚大な被害を受ける可能性は十分にあると考えられる。また、19歳以下の住民は、地震発生から77分後（4,620秒後）に避難が完了している。このことから、移動速度の最も速い住民であっても、避難開始時間が30分間も

遅延すると甚大な被害を受ける可能性があると考えられる。

## （2）保護者における各避難パターンの結果

保護者は「子供を捜しに行く」という避難行動をシミュレーションに反映させており、その結果を下記に記す。

避難パターン①(B)においては、すべての保護者が避難することができた。しかし、避難パターン②(B)では、保護者の17.6%（27名）が避難困難者となった。その内、40~49歳の保護者が最も多く、避難困難者の70.4%（19名）を占めていた。一方で、避難が完了した保護者をみると、50~59歳の保護者は地震発生から55分後（3,300秒後）に避難場所に到達していることから、1mの津波到達時間に対して余裕のある避難とは言い難い。

避難パターン①(C)においては、避難困難者が1名で40~49歳の保護者であった。また、1mの津波到達時間より、わずか4分間の遅れで避難目的地に到達していることがわかった。

避難パターン②(C)では、保護者の33.3%（51名）が避難困難者となった。その内、40~49歳の保護者が最も多く、避難困難者の64.7%（33名）を占めていた。また、40~49歳の保護者の避難完了時間は地震発生から102分後（6,120秒後）であった。この結果は、1mの津波到達時間から44分間（2,640秒間）過ぎており、甚大な被害

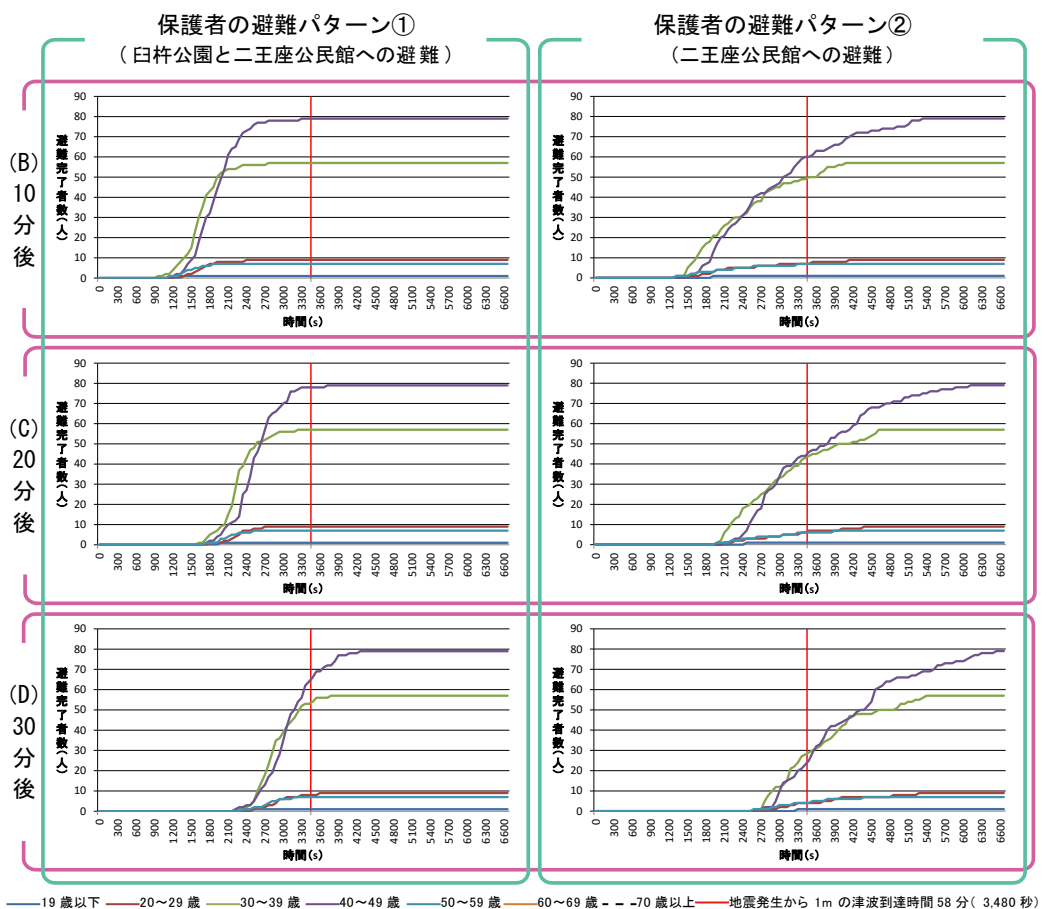


図4 保護者の年齢階層別避難完了者数（シミュレーション結果）

を受ける可能性があると考えられる。

避難パターン①(D)においては、保護者の 11.1% (17 名) が避難困難者となった。その内、40~49 歳の保護者が最も多く、避難困難者の 76.5% (13 名) を占めていた。

避難パターン②(D)では、保護者の 58.8% (90 名) が避難困難者となった。その内、40~49 歳の保護者が最も多く、避難困難者の 60.0% (54 名) を占めていた。また、避難パターン②(C)と同様に 40~49 歳の保護者の避難完了時間が 1m の津波到達時間から大幅に過ぎており、甚大な被害を受ける可能性があると考えられる。避難が完了した保護者であっても、1m の津波到達時間まで数分間の猶予しかないため、余裕のある避難とは考えにくい。この結果より、地震発生から子供を捜す行為は被災を受ける可能性が非常に高いと考えられる。

### (3) シミュレーションのまとめ

これまでの結果から、避難パターン①・避難パターン②ともに避難開始時間が遅くなるにつれて、避難困難者数が増えていくことがわかった。また、避難場所までの距離や避難開始時間によって、十分に避難ができるとともに、避難困難者数が大きく変化することがわかった。特に、避難パターン②においては、白杵湾沿岸部の住民は、二王座公民館に避難を行うと避難困難者になりうる可能性が高いことがわかった。この結果は、住民の所在地が避難場所からどの程度離れているのか住民自身が認知することが重要であり、早期避難に対応した避難場所の選択を行わなければならないことを示している。保護者においても同様なことがいえるが、「子供を捜しに行く」ことは避難困難者になりうる可能性が非常に高く、児童も保護者も早期避難が求められる。

## 4. 総括

南海トラフ巨大地震で発生する津波は、白杵市に甚大な被害をもたらすことが想定されていることから、本研究では MAS を用いて避難シミュレーションを行い、避難目的地別に年齢階層および避難開始時間、避難完了時間、避難完了人数からみた津波からの住民避難の予測と評価について行った。

避難シミュレーションによって、避難開始時間の遅れは、避難遅延者の発生を大きくし、避難場所の選択によって、さらに避難遅延者の発生を大きくすることがわかった。また、保護者においても「子供を捜しに行く」ことは、避難遅延者の発生を非常に大きくすることがわかった。そこで、今回の避難シミュレーションを住民や保護者に公開し、防災意識の向上を求め、様々な災害の状況を想定した避難訓練などの活動を取り組むことが重要である。

本研究では、年齢階層別に移動速度および最短距離、避難開始時間などを設定したが、平日および休日の昼間

人口、道路幅員、閉塞、傾斜交通条件などについては考慮していない。したがって、分析において避難完了者が実際に避難できない可能性が考えられるため、上記の設定も反映させたシミュレーションを行う必要がある。また、複雑化する避難行動を可能な限り簡略化しながらモデル化を試みたが、実際の避難に際しては、保護者の子供を捜しに行く行動などをより再現できるようなモデルの構築が求められ、この点は今後の課題にしたい。

### 【謝辞】

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究 C・課題番号 25420638)および平成 26 年度大分大学学長裁量経費(社会連携推進プログラム)による助成を受けて実施した。

### 【補注】

- 注1) 地震が発生してから避難を開始する時間を指す。
- 注2) 本研究がシミュレーションを行う際にエージェントの避難の目標とする位置のことを指す。
- 注3) 本研究では、本論とは別の調査・分析の関係上、平成 22 年度の国勢調査を用いている。
- 注4) 大字白杵と大字二王座の地区を指す。
- 注5) 配布方法は、長子に配布する形態をとり、配布数(=世帯数)=216 部、回収率=53.7% (116 部)である。
- 注6) 「子供を捜しに行く」の回答において、回答者 116 名のうち 3 名が無回答であったため、113 名に対する回答割合を算出している。
- 注7) 東日本大震災における地震発生時から避難開始までの時間について記しており、生存者は地震発生後 19 分、亡くなった方は地震発生後 21 分に避難を開始している。
- 注8) 津波到達時間以内に避難目的地に辿り着いていない住民を指す。

### 【参考文献】

- 1) 文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会:南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について、2013.5
- 2) 大畑大志郎、高井信雄、鏡味洋史:釧路市中心市街地における津波避難施設の配置の評価—マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーションその 2—、日本建築学会計画系論文集、No.612、pp.87-91、2007.2
- 3) 齋藤崇、鏡味洋史:マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション—奥尻島青苗地区を例として—、日本建築学会計画系論文集、No.597、pp.229-234、2005.11
- 4) 池部仁哉、池田聡志、富田羊亮、小林祐司:MAS による防災意識を考慮した避難行動シミュレーション—津久見市保戸島を対象として—、日本建築学会・情報システム技術委員会/第 37 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、pp.79-84、2014.12
- 5) 田中后郁、竹内則雄:校舎からの児童の避難シミュレーション、法政大学情報メディア教育研究センター研究報告、Vol.22、pp.15、2009
- 6) 山影進著:国土交通省都市局街路交通施設課:津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について(第 3 版)、2013.4
- 7) ウェザーニューズ:東日本大震災—津波調査結果—、[https://weathernews.jp/ip/info/tsunami2011\\_research/research\\_01.html](https://weathernews.jp/ip/info/tsunami2011_research/research_01.html) (2015.9.16 最終閲覧)
- 8) 山影進著:人口社会構築指南—artisan によるマルチエージェント・シミュレーション入門—、書籍工房早山出版

\*1 大分大学大学院工学研究科博士前期課程 大学院生

\*2 大分大学工学部福祉環境工学科 准教授・博士(工学)

# **Tsunami Evacuation Simulation and Evaluation Considering the Evacuation Behavior of Residents -Assuming Nankai Trough Earthquakes-**

○Yudai OTACHI\*<sup>1</sup>

Masaya IKEBE\*<sup>1</sup>

Yuji KOBAYASHI\*<sup>2</sup>

Keywords : Tsunami, Disaster Prevention, MAS, Simulation, Evacuation Behavior

Japan is one of the country that many earthquakes have been occurring. In the Great East Japan earthquake that occurred in 2011, major damage occurs, serious damage has mainly occurred in Tohoku Area. It is important to evacuate quickly height from the Tsunami. For that, it is necessary that the characteristics of region are understood by residents. Within 30 years, Nankai Trough Earthquake is assumed to occur with 70% probability. In the event of a disaster, in order to evacuate in a hurry, preparations, which are grasping of dangerous place in the region, the decision of evacuation, the information of incoming and outgoing, are required by the residents themselves. In this study, using a Multi Agent System (MAS), residents and parents in the target area (Usuki and Nioza District in Usuki City, Oita Prefecture) are set as the agent, and Tsunami evacuation which considered the difference between the initial time from immediately after the earthquake was simulated. And, the evaluation of this tsunami evacuation behavior, issues at the time of tsunami occurrence was made clear.

Research and analysis methods are follows. When the residents to evacuate from tsunami, evacuation of at a later a long time from the earthquake or immediately after the earthquake must be assumed. Evacuation simulation that age group of evacuation speed has been considered is carried out. Further, in the selection of evacuation sites, assuming that the evacuation start time is delayed, the possibility of evacuation is verified. In order to consider the characteristics of the region, questionnaire survey is performed on the parents, and, awareness of evacuation based on a questionnaire survey is reflected in the simulation.

First of all, intended for parents of school child of Usuki Elementary School, "Questionnaire on the behavior and consciousness in a disaster" was carried out. As a result, assuming that the tsunami occurred, the percentage of parents who select "go in search of the children" is 45.1% (51 people). The result and component ratio is used as a parameter of the simulation.

Next, about the simulation method, at the time of the earthquake, it is difficult to grasp a place to staying of residents. Therefore, the agent is placed at random on the road. The moving speed of the age hierarchies is given to arranged agent. Evacuation behavior rules are set, agents are directed to the evacuation destination in the shortest distance. Because the agent of the parents is given the conditions which is "search for the children", moving a certain period of time, and the agent of the parents start the evacuation. In this study, two evacuation pattern is verified. Evacuation destination is two places of "Usuki Park" and "Niouza Public Hall".

From the analysis result, when the evacuation start time is slow, that evacuation difficulties's increase has been grasped. By the distance to evacuation sites and evacuation start time, residents will be able to sufficiently evacuation. Also, it made clear that evacuation difficulties's is greatly changed.

In particular, in the case where Niouza Public Hall is the evacuation site, it was understood that the risk of evacuation is increased. It is important that the distance from the location to the evacuation site is recognizes by residents themselves. In other words, it has been shown that it must make a selection of evacuation site corresponding to the early evacuation. In the future, this evacuation simulation results are published to residents, it is need to be utilized in improving the disaster prevention awareness. Then, it is important to be carried out the evacuation drill that various disasters are assumed. Further verification and improvement of simulation technique and method are required.

---

\*1 Graduate Student, Graduate School of Oita Univ.

\*2 Associate Professor, Dept.of Architecture, Faculty of Eng, Oita Univ., Dr. Eng