

## 小学校における不審者から児童を守る避難方向指示システムの開発<sup>†</sup>

小池竜一\*・中谷直司\*・厚井裕司\*

岩手大学工学部\*

近年、不審者が小学校に侵入し、児童に危害を加えるという事件が発生しており、学校施設においても防犯を考慮した体制作りが必要となっている。そこで小学校に不審者が侵入した際に、児童を安全に避難させるための避難方向指示システムの検討およびプロトタイプの実装を行った。一般的に、避難システムの評価は多数の人々が参加する大規模な実験が必要であるため、実施が困難であり、システム実装にあたっての方針を決定することが難しかった。そこで、児童や不審者の動きをモデル化し、シミュレータ上で避難実験を行った。シミュレーションの結果では、小学校において無差別殺傷型の不審者から逃げるためには、リアルタイムで不審者の位置を測定するよりも、初期の段階で不審者の位置を正確に測定することが重要であることが明らかになり、システムが既存技術において容易に実装可能であることが分かった。

キーワード：避難方向指示システム、避難、シミュレーション、小学校、防犯

### 1. はじめに

近年、地域社会の連帯感低下や人々の倫理観の変化を背景に日本の治安が悪化している。それに伴い児童を狙った犯罪も数多く発生しており社会問題となっている。児童が事件に巻き込まれる事例が多い場所としては、登下校時の通学路が知られている。そのため、児童に対する防犯対策は主に校外におけるものを基本として考えられてきた。しかしながら、2001年には、ある小学校に不審者が侵入し、校内の児童達を次々に殺傷するという事件が起きた。その後、事件の検証が進むにつれて、全国各地の学校施設にも不審者が侵入する事例が度々存在したことが明らかになり、学校施設においても防犯を考慮した体制作りの必要性が叫ばれるようになってきた。

そのため、学校向けの不審者侵入検出システムの実験が各所で行われている。これらのシステムの大部分は、RFID タグを児童および教員に配布し、それらを持

たない人物が校門等の特定の地点を通過した際に、不審者として警報を発するという動作を行っている（富士通 2004）。ただし、これらのシステムは不審者の侵入をいかに発見するかという部分に着目しており、侵入が発覚した後に児童に具体的にどのような避難をさせるべきかについては考慮されていない。よって、その後の避難誘導は文部科学省の危機管理マニュアルが示している様に、各教員の判断に委ねられることになる（文部科学省 2002）。

群集が災害や事故に遭遇した際に被害を軽減させるには、個々の人間の判断に加え、適切な指示者の存在が重要であることが指摘されている（SUGIMAN *et al* 1988, KLEIN 1976）。よって、学校内の事故では、教員が適切な指示者となり児童を誘導する必要がある。しかし、前述の小学校の例のように不審者が無差別に児童を殺傷していく場合、火災等に比べて不審者の行動により被害の広がっていく方向がいかようにも変化し、かつ事態が数十秒単位で変化していくため適切な誘導が困難である。

そこで本論文ではこのような無差別殺傷型の不審者が校内に侵入してきた際に、児童を安全に避難させるための現実的な避難方向指示システムを提案する。提案システムは、不審者を認識した児童が携帯型の電波送信式防犯ブザーのボタンを押すことで、校内における児童の位置を測定する。また同時に児童付近に不審

2006年11月27日受理

<sup>†</sup> Ryuiti KOIKE\*, Naoshi NAKAYA\* and Yuji KOI\* :  
Development of the Directional Evacuation System  
to Defend Children from an Intruder in the  
Elementary School

\* Faculty of Engineering, Iwate University, 4-3-5,  
Ueda, Morioka, Iwate, 020-8551 Japan

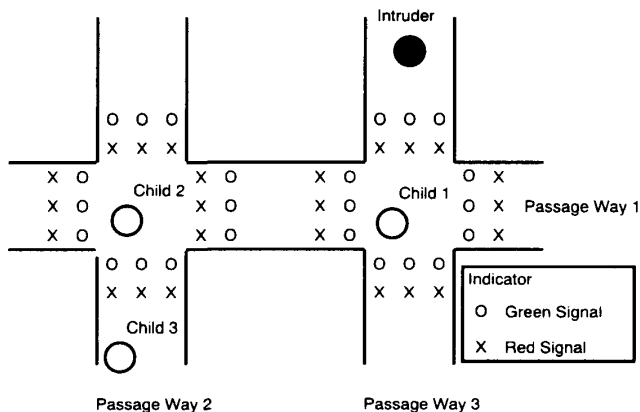


図1 不審者の位置による指示機の表示

者が存在すると認識する。この時、教室や廊下に敷設されている信号機を模した指示機を、その通路の危険度によって赤色や青色の表示に変化させる。すると、すべての児童は安全な避難方向を認識でき、常に不審者から遠ざかる方向へ移動が可能である。

本来、このようなシステムの評価を行うためには、多数の人間が参加して避難実験を繰り返す必要がある。しかし、このような大規模実験は時間的にもコスト的にも負担が大きい。そこでシステムの実装に取りかかる前に、マルチエージェント手法を用いたシミュレータを作成し、不審者の位置測定精度が避難に与える影響を理論的に明らかにすることにした。まず、シミュレータ上に理想の提案システムを構築した。次に用いられているパラメータを実世界で実現可能なものに調整していき、どの要素が避難行動に影響を与えるのか明らかにしていった。その結果、提案システムを構築するにはリアルタイムで不審者の位置を測定するよりも、初期の段階で不審者の位置を正確に測定することが重要であることが判明した。その結果、現実的な技術およびコストで前述の提案システムが構築可能となった。

以下、2章では提案システムについて述べる。3章では避難行動のモデル化を行い、4章で不審者の侵入および児童の避難シミュレーションを行う。5章では4章のシミュレーション結果を受けて、提案システムの現実的な仕様について考察する。6章では実装がなされた提案システムの現状について述べる。7章はまとめである。

## 2. 提案システム

### 2.1. 概要

本論文では、不審者が校内に侵入してきた際に児童に避難方向を指示する以下の様なシステムが提案され

た。まず、位置送信機能を持たせた防犯ブザーを児童に配布する。児童が不審者の侵入を認識した際には、防犯ブザーのボタンを押すことで無線が発せられ、システムに児童の位置が通知される。それと同時に、システムは児童付近に不審者が存在する事を認識する。次に、学内の非常ベルが鳴り、教室や廊下に取り付けられた指示機に表示が行われる。表示は道路の信号機をイメージし、赤LEDが点灯した際には「その方向は危険」、青LEDが点灯した際には「その方向は安全」を意味するようにする。これにより、不審者が直接視野に入っていない児童も不審者から離れる方向に避難が可能である。

図1に例を示す。図は指示機が設置されている学校内の廊下を表しており、そこに3人の児童と1人の不審者が存在している。分岐を伴う廊下には信号機を模した指示機が取り付けられている。指示機は両面に赤信号と青信号が表示可能である。つまり、児童は進行方向によって、指示機の表面と裏面とのどちらか一方の表示を見ることが出来る。

不審者を認識した児童1が防犯ブザーを押すと犯人の位置が特定され、指示機は図1のように、ある面には赤信号、もう一方には赤信号の表示が行われる。まず、左右に伸びる廊下1に設置された指示機は、自分と不審者とのX座標を比較し、自分よりも右に不審者が存在する場合には、自らの右側表示部分に青、左側に赤を表示する。もし、自分よりも左に不審者が存在する場合には、表面と裏面の青と赤の表示を入れ替える。同様に上下に伸びる廊下2、廊下3に設置された指示機は、自分と不審者とのY座標を比較することで同様の表示を行う。これにより、例えば廊下2に位置する児童2は、不審者が直接視野には入っていないものの、上と右の通路には赤信号が表示されているため、その方向への避難が危険であることを認識できる。また、同じく廊下2に位置する児童3も上を見ると赤信号が表示されているため、その方向が危険であることを認識できる。

### 2.2. 位置測定精度の問題

提案システムを構築するにあたって最も問題となるのは、具体的な犯人の位置をどの程度の精度で測定するかという点である。ここでいう精度とは、距離的な精度と時間的な精度が含まれる。

まず、距離的な精度について述べる。2.1節でも述べたように、提案システムでは児童に電波送信機能を持つ防犯ブザーを携帯させ、それによりシステムに児

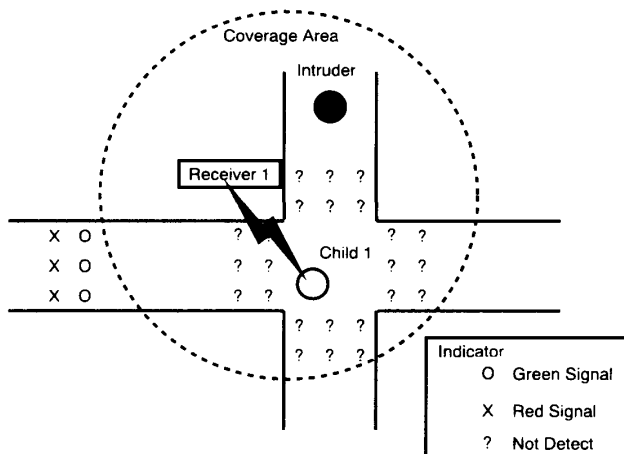


図2 受信機の受信範囲による指示機の表示

童の位置を知らせる。具体的には、防犯ブザーのボタンを押した際に電波が発生し、校内に多数設置された電波受信機（以下、受信機）のうち、最も近場の受信機のみを反応させることを想定している。これにより、システムはどの領域に不審者と児童が存在するかを判断できる。ただし、無線を用いたシステムには受信機の受信範囲という概念が存在するため、システムが判断できるのは、ある受信機の受信範囲内に不審者と児童が存在するという部分までである。つまり、図2の様受信機1と指示機が配置されていた場合には、受信機1の領域に属する指示機は領域内の不審者とはXY座標を比較できず、適切な避難方向を指示することができない。

次に時間的な精度について述べる。不審者は移動しているため、指示機に常に正しい表示をするには不審者の位置をリアルタイムで測定する必要がある。ただし、提案システムは不審者の位置測定を児童の持つ非常ベルに依存しているため、不審者の位置をリアルタイムに把握するには、最初の児童が防犯ブザーを押した後にも、不審者を発見した他の児童が次々と防犯ブザーを押していく必要がある。仮に、そのように防犯ブザーが押されなかった場合、時間が経過するにつれて不審者の実際の位置と、指示機の表示に矛盾が生じる恐れがある。

### 2.3. 検討事項

提案システムの効果を確認するためには、多数の児童による避難実験を行う必要があり、実験を数多く行うにはコストの問題が大きい。そこで、著者らは児童や不審者の動きをモデル化し、シミュレータ上で実験を行うことで、受信機の性能と避難効率の関係を明らかにする。これらを明らかにすることで、実装の際

に受信機に求められる性能や、小学校にどの程度の間隔で受信機を設置する必要があるか指針を得ることができる。

以降では具体的には2.2節で述べた次の2つの精度が避難へ及ぼす影響を調べる。まず、第1に距離的な位置測定精度、つまり受信機の受信範囲が避難時の児童らに与える影響について明らかにし、第2に時間的な位置測定精度、つまり不審者の位置測定間隔が避難時の児童らに与える影響にも明らかにする。

## 3. 避難行動のモデル化

### 3.1. モデル化概要

これまでも災害時における群集をシミュレートしたのものとしては、オートマトンを用いて群集の避難行動をモデル化したもの(片田ほか 2002)や情報伝達方法による市民の情報共有達成度をモデル化したもの(KIRCHNER *et al.* 2002)、あるいは、個別要素法を用いて群集をモデル化したもの(清野ほか 1996)など、様々なモデル化の手法が提案されてきた。ただし、これらは地震や火災等の大規模災害時の状況を忠実にモデル化することにのみ注力されてきた。そのため、本論文で問題としている小学校内における不審者の行動に注目したシミュレーションおよび避難方向指示システムに関する研究はあまり行われていない。

そこで以降では、提案システムが児童らの避難行動にどのような影響を与えるのかという点に着目して、マルチエージェント手法(JOSHUA *et al.* 1996)を用いたシミュレーションを行う。シミュレーションでは小学校という空間をモデル化し、そこに児童および侵入者を配置する。そして、児童らが不審者を避けながら出口に向かって避難する際に、提案システムの性能が避難にどのような影響を与えるかを明らかにする。

### 3.2. 空間および時間

空間は2次元のメッシュ構造で表現されており、それはセルと呼ばれる正方形の集合で構成されている。また、99%の人間の肩幅は0.52m以下であるとされている(FRUM *et al.* 1971)ため、1セルに1児童が存在できるようにセルの1辺は0.5mとした。また、空間の構成要素としては障害物、児童、不審者、指示機、出口が存在する。また、すべての要素はターンと呼ばれる時間単位で同期的に行動し、1ターンを0.5秒と定義する。

### 3.3. 障害物

シミュレータ上における建築物は障害物で構成されている。障害物とは建築物の壁や柱などを表しており、

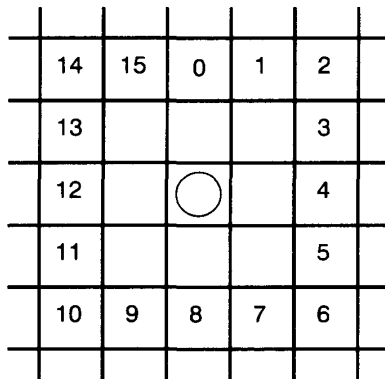


図3 エージェントの視野方向

児童と不審者との視野を遮断する。さらに、障害物上を移動することもできないとする。また、小学校という場所を考慮して、机という障害物も定義する。机は高さが低いため視野は遮断しないものの、机の上を移動することはできないとする。

### 3.4. 視野

マルチエージェントシミュレータ上における視野は図3に示されるように、エージェントを中心として視野を16方向に分割し、それらの方向に視野番号を付加する方式が提案されている(近田ほか 2000)。エージェントはこの16方向を順に調べ、障害物、児童、不審者、指示機、出口等の空間の構成要素を認識することができる。ただし、視野番号によって直線の視野と領域の視野との2つが定義され、それぞれ見え方が異なる。また、学校の構内という閉鎖空間を想定しているため、視野の長さは無限大とした。

**直線の視野** 直線の視野は視野番号の 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 に割り当てられている。これらの視野番号を見る際には、図4で示されるように、A, B, C, ... の順番で自分に近いセルより、空間の構成要素を認識する。

**領域の視野** 領域の視野は視野番号の 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 に割り当てられている。これらの視野番号を見る際には、図5で示されるように、A, B, C, ... の順番で自分に近いセルより、空間の構成要素を認識する。

### 3.5. 児童の種類

人間は災害などの緊急時には大きな恐怖に襲われるため知的行動レベルが大幅に低下し、通常の行動とは異なる傾向が現れるとされている(安倍 1982)。一例としては、緊急時においても自ら主体的に思考し、行動していくリーダ的な人間が発生する一方、他者の行動に同調し、他者の後を追いかける事しかできなくな

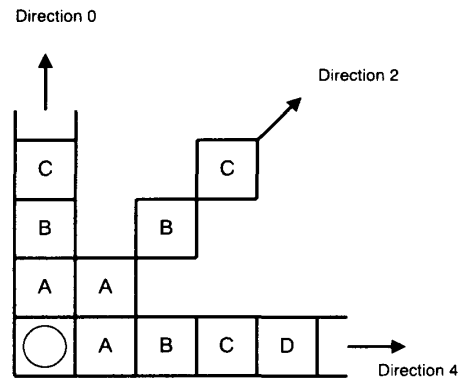


図4 直線の視野

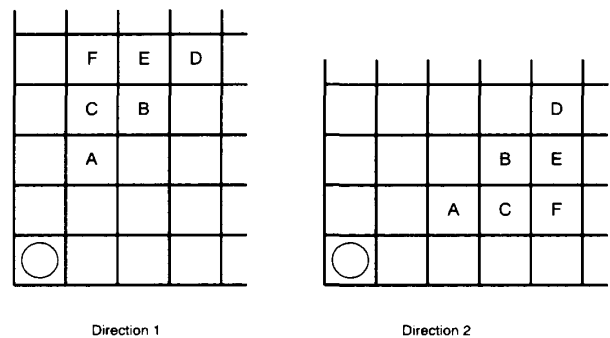


図5 領域の視野

る人間が発生するというものである。

そこで、前述の文献で指摘されている傾向をふまえ、積極的な児童と受動的な児童との2種類を定義する。積極的な児童は周辺の環境を認識しつつ主体的に避難経路の検索を行い、受動的な児童は他の児童を追いかける事しかできないと定義する。以下で、児童の目的地設定方法について述べる。

### 3.6. 積極的な児童

#### 3.6.1. 避難行動の基本

人間が避難を行おうとした際には、最終的には安全な出口へ移動しようとする。ただし、変化する周辺状況に対応するために、ごく短時間の間に「視野内への目的地設定」と「その目的地への移動」の2つの行動を繰り返している。そこで2種類の児童は、視野内に配置される空間の構成要素に影響を受けながら10ターン毎に目的地を設定し、そこへ移動するものとする。なお10ターン以内に目的地へ到着した際には、すぐさま目的地の再設定を行うこととする。

#### 3.6.2. 目的地設定

積極的な児童は、主体的に避難経路を検索する。ただし、災害時には人間は無意識のうちに開放性の高い空間へ移動していくものとされている。そこで、積極的な児童は16方向の視野番号を調べ、最も長い視野線

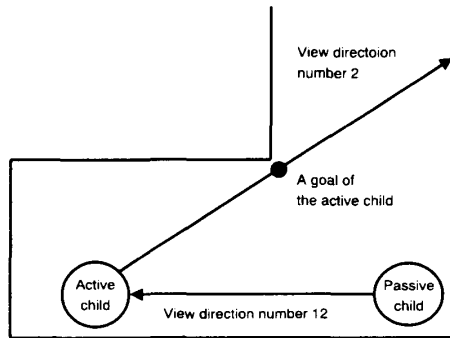


図6 児童の目的地設定

の中心を目的地とする。例えば、図6では、最も長い距離をもつ視野番号は2であるため、児童はその視野線の中心を目的地とする。ただし、視野内に出口が存在する場合は、そちらを優先して目的地とする。

### 3.6.3. 移動

一般的な成人の歩行速度は1.4m/s とされている (FRUIN *et al.* 1971)。そこで、歩幅が小さな児童の歩行速度を1.0m/s と仮定する。よって、1セルの一边を0.5m、1ターンを0.5秒と定義したので、児童は1ターンにつき1セル移動できる。移動できるのは、図3における、0, 4, 8, 12 の方向のみで、この方向への移動を繰り返し、設定した目的地を目指す。

## 3.7. 受動的な児童

### 3.7.1. 目的地設定

受動的な児童は、主体的に避難経路を決めることはできず、他の児童を追いかけに行くことしかできない。そこで、受動的な児童は10ターン毎に16方向の視野番号を調べ、もっとも近い他の児童の位置を目的地とする。例えば、図6では、視野番号12の方向に他の児童を発見できるため、その児童の位置を目的地として設定する。また、視野内に出口が存在する場合は、そちらを優先して目的地とする。

受動的な児童は、視野内に他の児童が存在しない場合は目的地の設定を行わず、視界内に他の児童が入るまでは移動できずに待機する。同様に、不審者が視野に含まれる場合であっても、視野内に他の児童が存在しなければパニックに陥り待機してしまうものとする。また、移動方法は積極的な児童と同様である。

## 3.8. 不審者

不審者は無差別殺傷型であると定義し、近場の児童に可能な限り危害を加えようと行動する。不審者は16方向の視野を検索し最も近い児童の位置を目的地に設定し、危害を加えるため児童に接近する。このとき、不審者が児童の1セル以内に接近した場合には、児童

は危害を受けたとし、シミュレータ上での活動を停止する。なお、一般的な成人の歩行速度は1.4m/s とされているため、移動速度を近似して1.5m/s とし、1ターンに 0, 4, 8, 12 方向のいずれかに1.5セルずつ移動するものとする。

## 3.9. 指示機

指示機は信号機を模しており、児童が安全な方向へ避難できるよう廊下や教室の分岐点において、危険な進行方向に赤色、安全な進行方向に青色を表示する機器である。2.1節および2.2節において、受信機の位置測定精度が指示機の性能にも影響を与えることを述べた。

### 3.9.1. 指示機と受信機の位置測定精度

受信機は受信範囲を変化させることで距離的な位置測定精度を変更できる。シミュレータ上では、受信機は空間上に等間隔に配置されているとし、それらは1辺が1セルの正方形の受信範囲をもっている。つまり仮に、40×40セルの空間で受信機の受信範囲を  $l = 10$  と設定すると、16機の受信機が等間隔に配置され、それぞれの受信機を中心に1辺が10セルの長さを持った正方形の受信範囲が形成されるとする。

受信機は受信間隔を変化させることで時間的な位置測定精度を変更できる。つまり、時間的な位置測定精度の影響を調べるために、測定間隔  $t$  を設定できるものとする。例えば、 $t = 10$  とした場合には、10ターン毎に不審者の位置測定が行われるものとする。

## 3.10. 不審者からの危険回避行動

積極的な児童は、視野内に不審者が存在する場合には危険回避行動を行う。危険回避行動はある方向の視野内に不審者を発見した際に、その視野を中心として9方向に目的地を設定しないようにする。つまり目的地設定ターンにおいて、視野番号0の方向に不審者を発見したとすると、図7のように視野番号 12, 13, 14, 15, 0, 1, 2, 3, 4 の方向を除外し、それ以外の視野から目的地を選択する。なお、受動的な児童は自らは不審者を認識せず、あくまで、不審者から逃げ回る積極的な児童を見て、それらを追跡するのみである。

## 3.11. 指示機による避難方向の認識

積極的な児童は視野内に指示機が存在する場合にはその指示に従う。これにより、児童は不審者から離れる方向に避難が可能である。不審者の位置と指示機の表示は図1で示したとおりである。このとき、青信号や赤信号の表示を見た児童に対しては、仮想的な避難方向指示が与えられていると考えられる。例えば、図1の児童2が廊下2の上方向を見ると赤信号を認識する。すると、

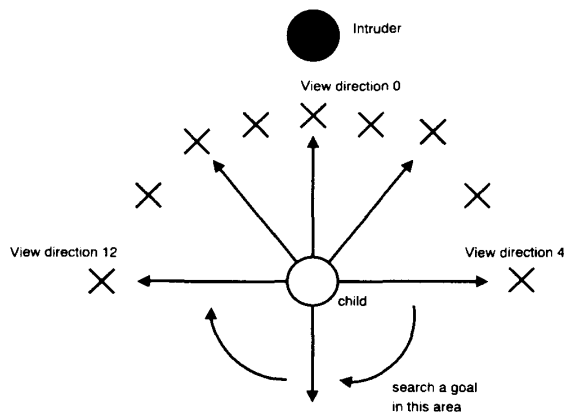


図7 児童が不審者を見つけた際の目的地設定

児童はその方向は危険であると考え、下方向に避難し始めると考えられる。また、児童2が左方向を見ると青信号が認識できる。すると今度は、その方向が安全であると考え、左方向に進み始めると考えるのが自然である。つまり、図1の状況における指示機の表示は、図8で示されるように、仮想的な避難方向指示が与えられていると同様であると考えられる。

そこで、積極的な児童は最も近場の指示機のみを認識し、その指示機が示す仮想的な指示方向を中心とした9方向に目的地を設定するつまり、目的地設定ターンにおいて指示機を発見し、その仮想的な避難方向指示が12であるとすると、児童は8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 0の方向から目的地を設定することになる。

#### 4. シミュレーション

ここでは、3章で定義したモデルを元に、条件を変化させながらシミュレーションを行う。そこで、対象空間、実験方法について述べる。

##### 4.1. 対象空間

シミュレーションを行う空間としては、図9の様な建築物を設定した。上部には教室が4つ並んでおり内部は机が配置されている。教室1つの面積は鉄筋コンクリート校舎の設置指針(国土交通省 1950)を参考に  $7\text{ m} \times 9\text{ m} = 63\text{ m}^2$  とした。ベランダと教室はガラス窓で仕切られているとし、障害物としては便宜上、机を用いた。また、下部には大教室が1つと、その他の部屋が2つ配置されている。さらに、部屋の出入り口や廊下の分岐点には指示機を設置した。児童が目指すべき出口は5つ用意されており、出口1, 2がベランダから外へ脱出可能とし、出口3, 4, 5は廊下を経由して、脱出可能とした。

なお、現実の校舎は様々な形状をしているため、それ

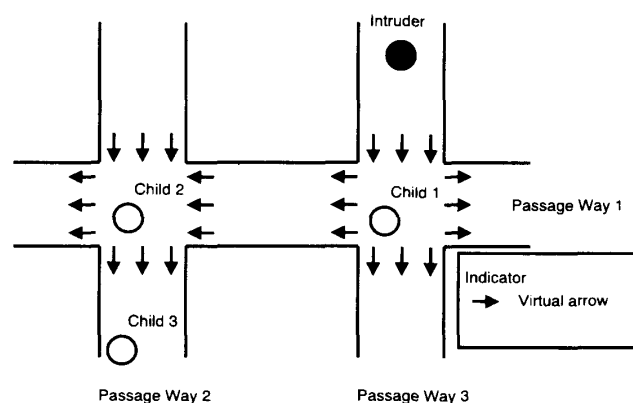


図8 指示機における仮想的な避難方向表示

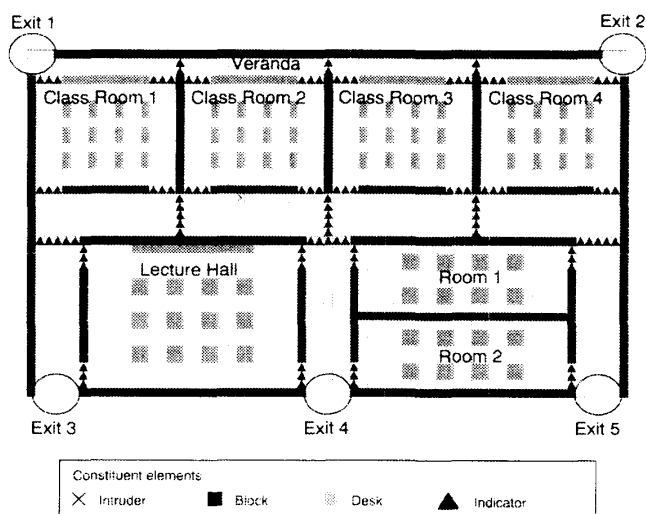


図9 シミュレーション空間

らの建築物を一般化するのは難しい。そこで今回は最悪のケースを想定して、廊下が短く、教室とその他の教室とが密集している校舎を設定した。これにより、児童の視界が遮断され不審者の行動に気付くのが遅れる。

##### 4.2. 児童と不審者の配置

シミュレーションは休み時間中に不審者が侵入したことを想定しているため、対象となる校舎内に教員が存在しない状態で、積極的な児童と受動的な児童とが不審者を回避しつつ出口へ避難するものである。多くの教員が職員室に戻る様な、30分以上の休み時間中に校舎内で遊ぶ児童は、全児童の約30%とされている(佐藤ほか 2004)。そこで、1教室40人のクラスが4つ存在すると仮定すると、図9上には  $40 \times 4 \times 0.3 \approx 50$  人の児童が存在する。よって、シミュレーション時には25人の積極的な児童と25人の受動的な児童とをランダムに配置することにする。また、不審者の初期位置は、最悪の場合を想定して図9のように、対象空間のほぼ中央とした。

なお、積極的な児童と受動的な児童との比率を1:1としたのは、安倍(1982)の実験結果および学校の現場で働いている教師からのヒアリングによるものである。安倍(1982)によれば、ビル火災から避難する際に、他人へ配慮を行う人間は約40%存在するとしている。また、小学校においてクラス担任をしている複数の教師に実際にヒアリングを行ったところ、非常時に適切な行動がとれるであろう児童は経験的には半分程度であるとの回答が得られた。そこで、積極的な児童と受動的な児童との比率を近似して1:1とした。

#### 4.3. シミュレーションケース

提案システムの評価を行う、3種類のシミュレーションを行う。まず第1に提案システムが存在しない場合の児童への被害、第2に提案システムが理想の性能を発揮する場合の児童への被害、第3に位置測定精度を変化させた場合の児童への被害である。なお、この際の具体的な評価指標としては不審者に危害を加えられた児童の人数を用いる事とし、400ターンのシミュレーションを50回行い平均をとった。以下で、それぞれのシミュレーションの動作詳細を述べた後、実験および評価を行う。

##### 4.3.1. 提案システムなし

ここでは提案システムが存在しない場合の評価を行う。本シミュレーションでは初期状態ですべての児童は静止しており、不審者が接近するまで避難行動はとらないものとする。つまり、不審者が積極的な児童の視野に含まれ、かつ距離が10セル以内である場合に避難を開始する。また受動的な児童の場合は、不審者が近づくと積極的な児童についていくことで避難行動を行う。

図10に結果を示す。図は横軸が経過ターン、縦軸が危害を加えられた児童の人数である。シミュレーションが

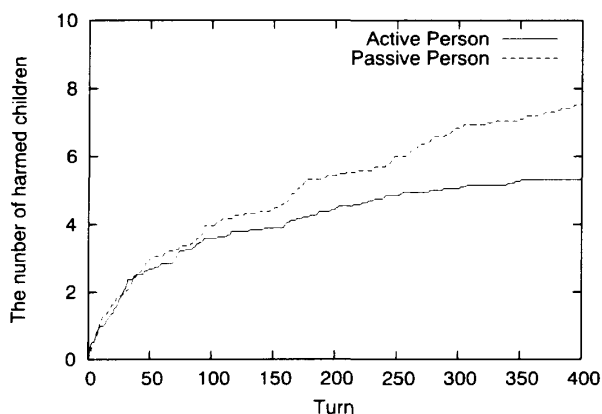


図10 危害を受けた児童の数 (提案システムなし)

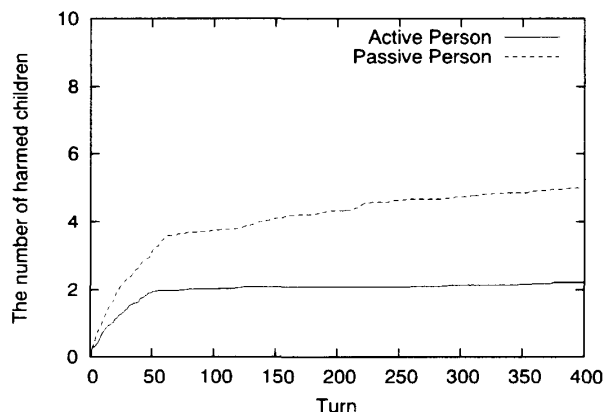


図11 危害を受けた児童の人数 (理想の提案システム)

開始されると、不審者の周りにはいる積極的な児童は危険を認識し避難行動をとる。しかし、不審者の移動速度が児童よりも早いため、不審者付近の児童の多くは危害を加えられてしまう。また、危害を受ける児童の人数はターンが経過するにつれ徐々に増加し、最終的には積極的な児童の約5.3人、受動的な児童の7.6人が被害を受けた。これは、不審者が校内で暴れ回っていることを知らない児童が数多く存在するためである。よって、不審者が教室間を次々と移動しながら、これらの児童に危害を加えていき被害が収束しなかった。

##### 4.3.2. 理想の提案システム

次に理想の提案システムの評価を行う。ここでいう理想の性能とは、受信機の距離的な精度が $t=1$ 、時間的な精度が $t=1$ であるとする。つまり、理想のシステムとは不審者の位置を毎ターン測定可能であり、位置に関しても1セル単位で正確に判断が可能なるものである。本シミュレーションでは、ある児童が防犯ブザーを押したことを想定し、初期状態からすべての児童が避難行動を開始しているとする。また、その際には提案システムにより指示機に表示がなされている。

結果は図11であり、最終的には積極的な児童の約2.2人、受動的な児童の約5.0人が被害を受けた。よって、提案システムが存在しない場合に比べて被害を、積極的な児童は約42%、受動的な児童は約66%にまで低下させることができた。

シミュレーション開始時においては、提案システムが存在しない場合と同様に不審者の周りの児童が危害を受ける。しかし、約50ターン目以降では積極的な児童における被害がほぼ一定になる。これは、不審者が近場の児童に危害を与えた後、他の教室へ移動したものの積極的な児童が指示機に従って避難したため、不

審者が積極的な児童に接触できなかったことが原因である。

一方、受動的な児童に関してはターンが経過するに従って少しずつ被害が増加している。これは、指示機の表示に従って効率的に避難していく積極的な児童を受動的な児童が見失い、移動できなくなってしまうことが原因である。そのため不審者は、時間と共に取り残された受動的な児童に危害を加えていく。

#### 4.4. 位置測定精度が児童の避難に与える影響

ここでは提案システムを実装するにあたり、受信機の性能が児童の避難行動に与える影響について評価する。そこで、受信機の距離的あるいは時間的な位置測定精度を低下させていった場合の避難への影響を評価する。

##### 4.4.1. 距離的な位置測定精度

ここでは距離的な位置測定精度の避難への影響を評価するために、位置測定間隔は  $t=1$  として、受信機の受信範囲  $l$  の値のみを変化させながらシミュレーションを行う。つまり本シミュレーションは、提案システムがリアルタイムで不審者の位置を取得できるものの、その位置に誤差が含まれる場合の影響を評価するものである。

結果は図12である。図は横軸が受信機の受信範囲  $l$ 、縦軸がシミュレーション終了時までには危害を加えられた児童の人数である。 $l=1$ は理想の提案システムの性能である図11の400ターン目に対応している。また、 $l=60$ は対象空間のすべてを受信範囲とする受信機が1つだけ設置されている状況に対応している。つまり  $l=60$ における状況は、不審者侵入により学内に非常ベルは鳴り響いているものの、不審者の位置が特定できないため、指示機はなんら意味を持たないというものである。

積極的な児童は  $l$  の増加と共に被害が増加しており、 $l=60$ では5.7人の児童が被害を受けた。これは理想の提案システムにおける被害の約250%である。これは、 $l$  の増加に伴い避難方向を表示できない指示機が多くなるためであり、積極的な児童は適切な避難方向を認識できず、教室から出た瞬間に不審者と接触してしまう、あるいは不審者に見つかり追跡されるという例が散見された。

逆に受動的な児童は  $l$  の値による一定の相関関係は見られなかった。これは、積極的な児童が選択する避難経路の自由度に関係がある。本来であれば、 $l$  が増加し避難方向を表示しない指示機が多くなると、積極的な児童が適切な避難を行わなくなる。それに伴い受

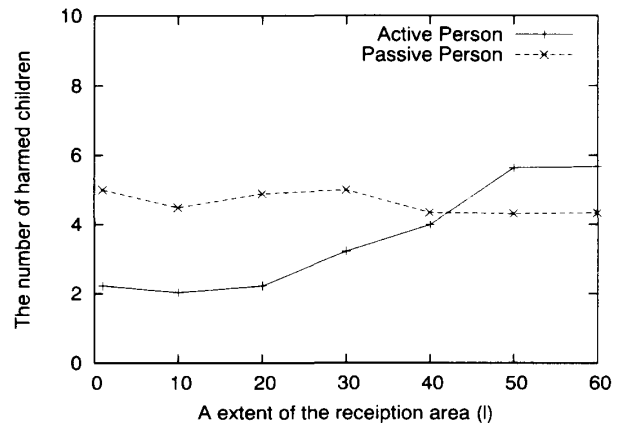


図12 距離的な位置測定精度と危害を受けた児童の数

動的な児童も被害を受けやすくなるはずである。しかし、指示機が避難方向を示せない場合には、逆に積極的な児童が避難する方向の自由度が高まる。そのため、積極的な児童が、教室等の端で動けなくなっている受動的な児童を引き連れて避難を行う例が存在する。ただし、その避難方向が間違っており被害に遭うことがあるため、両方の効果が相殺され、全体としてはどの  $l$  においても、受動的な児童が危害を受けた人数に大きな変化がなかった。

##### 4.4.2. 時間的な位置測定精度

ここでは時間的な位置測定精度の避難への影響を評価するために、受信範囲  $l=1$  として、受信機の位置測定間隔  $t$  の値のみを変化させながらシミュレーションを行う。つまり本シミュレーションは、提案システムが不審者の位置を正確に測定できるものの、リアルタイム性に乏しく、犯人の現在地との誤差が含まれる場合の影響を評価するものである。

結果は図13である。図は横軸が受信機の受信間隔  $t$ 、縦軸がシミュレーション終了時までには危害を加えられた児童の人数である。 $t=1$ は理想の提案システムの性能に対応し、 $t=400$ は初期ターンに1度だけ不審者の位置が測定された場合の性能に対応する。シミュレーション開始直後は、図11にも見られるように、不審者は付近にいる多くの児童に危害を加えることが可能である。ただしこの時、付近の児童が防犯ブザーを押すことで、この教室内で事故が発生したことが非常ベル等で全生徒に周知され避難が始まる。そのため、不審者が初期位置付近で暴れている間に、他の児童はすでに不審者とは逆方向に逃げ始めており、不審者は児童と比較して150%の移動速度が設定されているにもかかわらず、初期ターンに付近にいた児童以外には追い



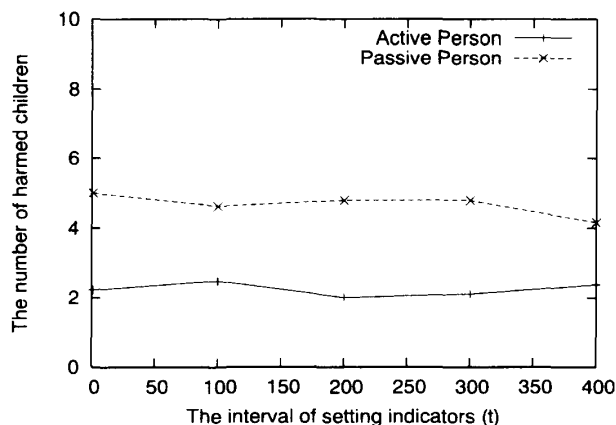


図13 時間的な位置測定精度と危害を受けた児童の数

つくことができなかつた。

この傾向は、図13の全ての  $t$  で見る事ができた。両児童への被害は  $t$  の値に関係なくほぼ一定であり、 $t$  との相関関係は見られなかつた。これにより、無差別殺傷型の不審者を避けながら安全に避難するには、不審者の位置を必ずしもリアルタイムで測定できる必要はないという事が示唆された。

## 5. 現実的な提案システム

### 5.1. 仕様決定

ここでは現実的な提案システムについて述べる。4.3.節の4.3.2.では不審者の位置をリアルタイムで正確に測定できる理想の提案システムについて述べた。しかし、現実には技術やコストの問題により、そのような性能の受信機を開発するのは難しい。そこで提案システムの実運用を想定しながら、現実的な提案システムの仕様について考察する。まず図12より、受信範囲が  $l=20$  程度までは児童への被害がほぼ一定であることが分かる。これは図9における教室1の大きさよりやや大きい程度の面積である。よって、現実世界においても教室単位程度の精度で不審者の位置を測定できるように受信機を開発する。これは提案システムの主なユーザである教員の感覚的にも、教室単位で不審者の位置を表示できるというのは好ましいと考えられる。

次に図13より、不審者の位置測定をリアルタイムに行わなくとも、提案システムの性能に大きな影響を与えないことが分かる。現実においても、避難時に不審者を見た児童らが次々と防犯ブザーを押す保証は全く無く、位置測定のリアルタイム性は乏しいと考えられる。よって、シミュレーション上でのこの傾向は、不審者の位置測定を防犯ブザーに依存する提案システム

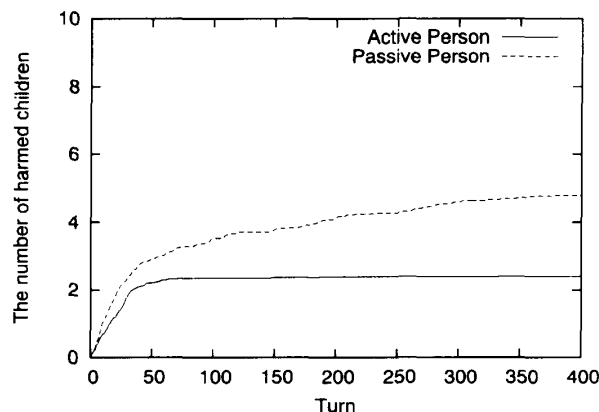


図14 危害を受けた児童の数

(現実的な提案システム:  $l=20$ ,  $t=400$ )

にとっては好ましいものである。そこで、現実の提案システムでも不審者を発見した最初の児童が防犯ブザーを押した後は、他の児童が防犯ブザーを押しても、指示機の表示は変更しないものとする。

### 5.2. シミュレーション

ここでは前節で決定した仕様に合わせて受信範囲  $l=20$ 、受信間隔  $t=400$  としてシミュレーションを行い、ターン経過における危害を受けた児童の数を調べる。結果は図14である。積極的な児童は400ターン目において約2.4人が危害を受けた。これは図11の理想の提案システムにおける被害の約109%である。ただし、提案システム存在しない状況である図10と比較すると被害を約45%にまで低下させている。また、受動的な児童についても提案システムが存在しない状況と比較し、被害を約63%に低下させている。よって提案システムは、不審者の位置を教室単位の精度で測定し、かつ1度の位置測定でもあっても避難方向指示システムとしての効果を発揮できることが確認された。

## 6. 避難方向指示システムの実装

前章までのシミュレーションにより安全な避難をするためには、時間的な位置測定精度よりも距離的な位置測定精度の方が重要であると確認された。そこで、図15の様な受信機と防犯ブザーの開発が行われた。これらの機器は、受信範囲を半径約100mまで調整することを可能とした。具体的には防犯ブザーから発せられた特定小電力無線を、最も近場の受信機が受信することで位置測定を行う。なお、特定小電力に関連する機器は比較的安価に製造が可能であるため、防犯ブザーは500円、受信機は5000円程度で作成が可能である。

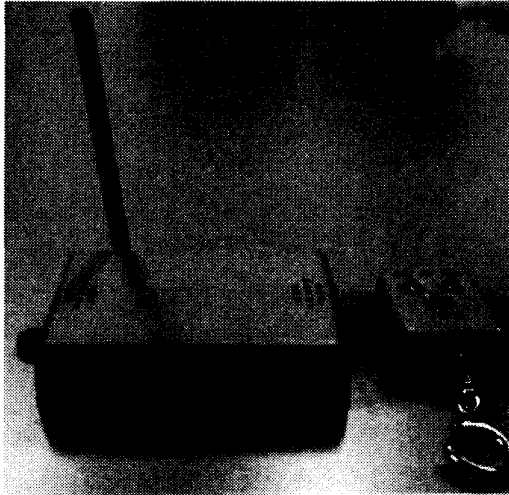


図15 受信機（左）と電波送信式防犯ブザー（右）

提案システムはコスト面で十分実現性があると考えている。実験で用いた図9を例にコスト計算を行う。まず、防犯ブザーに要するコストは、該当領域に160人の児童が存在するため、 $160人 \times 500円 = 80,000円$ となる。また、図12より、 $l = 20$ の間隔で受信機を設置すれば性能の劣化が無いと仮定すると、8個の受信機が必要であり、コストは $8個 \times 5,000円 = 40,000円$ である。よって図9の領域では120,000円のコストで提案システムの導入が可能である。

提案システムの一部は、2005年度には神奈川県の小学校510校に導入されており、シミュレーション結果を受け、各教室単位で反応するような受信機が設置されている。ただし、提案システムについては各学校から様々な運用方法についての要望がある。例えば、ある小学校では児童の持つ防犯ベルと教員が持つ防犯ベルに別々の重み付けを行い、教員がベルを押した方が高い緊急度としたいという要望がなされた。そこで、現在これらの運用方法有効性についても調査を行っているところである。

## 7. おわりに

本論文では、不審者が小学校に侵入してきた際に避難方向指示機を用いて、児童を安全な方向へ避難させるシステムを提案した。一般的に、このようなシステムの評価は多数の人々が参加する大規模な実験が必要であるため、システム実装に要する機器の性能等の方針を決定することが難しかった。そこで、児童や不審者の動きをモデル化し、マルチエージェントシミュレータ上で実験を行うことで、理論的な面から仕様を決定していった。その結果、無差別殺傷型の不審者に対

してはリアルタイムで不審者の位置を測定するよりも、初期の段階で不審者の位置を正確に測定できる方が重要であることが明らかになった。また、このような特性を持った提案システムは技術的、コスト的に既存技術で実装が容易に可能であることも明らかとなり、提案システムの一部は神奈川県の小学校等に導入が行われることとなった。

## 参 考 文 献

- 安倍北夫 (1982) 災害心理学序説. サイエンス社, 東京
- A. KIRCHNER and A. SCHADSCHNEIDER (2002) Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics. *Physica A*, **312** : 260-276
- 富士通株式会社 (2004) 登下校を確認する安全対策システム.  
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2004/09/27-1.html>  
(参照日2006.11.05)
- JOHN J. FRUIN (1971) Pedestrian planning and design. Metropolitan Association of Urban Engineers and Environmental Planners
- JOSHUA M. EPSTEIN and ROBERT L. AXTELL (1996) Growing Artificial Societies : Social Science from the Bottom Up. Brookings Institute
- 片田敏孝, 浅田純作, 桑沢敬行 (2000) Gis を用いた災害情報伝達のシミュレーション分析. 土木情報システム論文集, **9** : 49-58
- 近田康夫, 廣瀬智士, 城戸隆良 (2000) CA を用いた歩行シミュレーションモデルの構築. 土木情報システム論文集, **9** : 19-30
- 清野純史, 三浦房紀, 瀧本浩一 (1996) 被災時の群集避難行動シミュレーションへの個別要素法の適用について. 土木学会論文集, **537** : 233-244
- KLEIN A.L (1976) Changes in leadership appraisal as a function of the stress of a simulated panic situation. *Journal of Personality and Social Psychology*, **34** : 1143-1154
- 国土交通省 (1950) 鉄筋コンクリート造校舎の標準設計. 国土交通省, 東京
- 文部科学省 (2002) 学校への不審者侵入時の危機管理マニュアル. 文部科学省, 東京
- 佐藤京子, 藍澤宏, 菅原麻衣子, 山田晋治 (2004) 小学校における児童の活動領域と活動内容の定着化児童の活動からみた小学校の平面計画に関する考察
- 日本教育工学会論文誌 (*Jpn. J. Educ. Technol.*)

その1. 日本建築学会大会 (北海道) : 271-272

SUGIMAN, T and MISUMI, J (1988) Development of a new evacuation method for emergencies: Control of collective behavior by emergent small groups. Journal of Applied Psychology, 1 : 3-10

### Summary

Recently incidents that an intruder harms children in elementary schools often occur. It is necessary for school officials to build a framework that includes concepts of security. Therefore we will research a realistic system that indicates the proper direction of an evacuation for children when the intruder invaded the elementary school. But it is difficult for us to decide a policy of implementing

the proposed system because large scale experiments are needed to evaluate such a proposal system. For that reason, we determined specifications of the system on the theoretical side by simulating motions of children in a school building. As the result of simulations, it became clear that a default position measurement of the intruder is more important than a tracking of it with real-time so that children can escape from it in the elementary school. It was determined that existing technology could implement the proposed system.

KEY WORDS: DIRECTIONAL EVACUATION SYSTEM, SIMULATION, ELEMENTARY SCHOOL, SECURITY

(Received November 27, 2006)