

平成 21 年 6 月 2 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19510179  
 研究課題名（和文） 東南海・南海地震の防災対策としての市町村火災延焼危険マップの作成  
 研究課題名（英文） Preparation of Hazard Map of the Spread of a Fire on Towns and Villages as a Disaster Prevention for Nankai and Tonankai Earthquakes  
 研究代表者  
 謝 孟春 (XIE MENGCHUN)  
 和歌山工業高等専門学校・電気情報工学科・教授  
 研究者番号:90300574

## 研究成果の概要：

本研究は、地震発生後の火災による被害の想定に基づいた地震に強い街づくり計画の作成などの支援とする目的で、セルオートマトン法を用いた火災延焼のシミュレーションを作成した。この CA 火災延焼システムは地図のセル化とセルの状態遷移からなり、建物構造に応じて、木造セル、防火セル、耐火セルなどを設定した。構築した火災シミュレーションを用いて、対象とする地域に対して延焼危険マップを作成した。その延焼危険マップは地震後の火災により対象地域に与える被害がある程度示唆され、避難ルートの検証ができた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：火災延焼危険マップ，東南海・南海地震，火災延焼シミュレーション，電子住宅地図，防災対策

## 1. 研究開始当初の背景

日本歴史上最多の死者 142,800 をだす大災害であった南関東地震（1923 年）は、大半の犠牲者は約 130 箇所から出火した火災によるものであった。1995 年の兵庫県南部地震では、火災による犠牲者は全体の約 10% の 600 人であった。地震後の火災は直接的な被害要因である地震動に対して二次的災害要因として知られている。地震時の火災による災害の大

規模な拡大は日本の集落、都市構造に固有のものである。

1954 年の安政東海地震と安政南海地震の後、1944 年に昭和東南海地震、1946 年に昭和南海地震が発生している。巨大地震の発生間隔が約 100～150 年であることから考えると、今世紀前半にも当該地域で巨大な地震が発生する状況にあることが懸念されている。中央防災会議「東南海、南海地震に関する

報告」では、「東南海、南海地震は、現時点では直前予知は困難であるが、今世紀前半にもその発生のおそれがあり、甚大な津波被害などの発生のおそれがあること、被災範囲が広域にわたること等から、速やかに地震発生メカニズムや想定される被害などについての検討を行い、必要な防災対策を実施していくことが重要である」との強い指摘があった。

研究者が所属する和歌山工業高等専門学校は、和歌山県紀南地方に所在している。当地方は、過去に発生した南海・東南海地震から大きな被害を受けた歴史的経験を持つ。再び起こる可能性の高い東南海・南海地震のため、急峻な地形に存在する集落では、崖崩れや津波などにより交通が寸断され、多数の地域が陸の孤島になり、人や物質の運送が非常に困難になり、他の地域から十分な応援が期待できない。また、この地区は過疎地域や高齢者が進んだ地域が多くて、防災活動の担い手が不足する。多数の出火があった場合には消防力が不足し、初期消火が困難になる。

最近、防災分野では、災害を完全に防止するのではなく、発生した災害の影響を最小限に抑える「減災」という考え方が広がってくる。減災においては情報システムが重要な役割を果たす。災害の可能性の予測、影響のシミュレーションのような情報システムの研究は非常に意義を持つことである。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の4点を挙げる。

- (1) 紀伊半島地域の特徴を考慮し、セルオートマトン法を用いた火災延焼のシミュレーションモデルを提案すること
- (2) 各地域の建物の状況を調査して分類し、シミュレーションの予測結果に従って、地域別の延焼危険マップを作成すること
- (3) 電子住宅地図を用いて、簡便な火災延焼システムを構築すること
- (4) 延焼危険マップと津波情報を考慮して、最適な避難経路の探索システムを検討すること

## 3. 研究の方法

### (1) セルオートマトン法

セルオートマトン (Cellular Automaton, CA) とは、有限個の状態を持つセルと呼ばれる素子と単純な規則からなる計算モデルである。CA法は非常に単純化されたモデルと規則から成り立っているが、それぞれのセルが相互に影響しあうことにより、全体として複雑なパターンを生み出す。そのため、CAは建物の位置や材質、風の影響等、多くの要素が複雑に絡み合う火災の延焼について解析するのに適している。

### (2) CAによる火災予測システムの構成

CAによる火災予測シミュレーションは地図のセル化とセルの状態遷移から成り立っている。CAによる火災予測システムの流れを以下に示す。

- ① 地図のセル化：シミュレーション対象となる地域のマップを作成する。
- ② 火災の発生：出火点を任意に指定し、火災が発生する。
- ③ 燃焼セルの変化：セルの燃焼時間により燃焼セルの延焼能力を変化させる。または、燃焼セルが一定の時間が経過した後鎮火セルとなる。
- ④ セルの状態遷移：延焼判定を行い、可燃セルが燃焼セルに変化する可能性がある。
- ⑤ 終了条件：定められた回数まで繰り返す。

CAにおける地図のセル化とは、地図を一定長の二次元正方形格子で区切ることで、一つの正方形格子を一つのセルとするというものである。地図のセル化より作成された地図を格子マップと呼ぶ。それぞれのセルは以下に示す6つの状態のいずれかを対応させる。木造セルと防火セルは、延焼が起こる可能性があるため、可燃セルと呼ぶ。また、本研究において木造、防火、耐火の建築様式を建物構造と表現している。

- ① 木造セル：木造建築を表し、燃えることがある。
- ② 防火セル：防火建築を表し、木造セルに比べ燃える可能性が低い。
- ③ 耐火セル：耐火建築を表し、燃えない。
- ④ 道路・空地セル：道路等建物でない場所を表す。
- ⑤ 燃焼セル：燃えている建物を表す。
- ⑥ 鎮火セル：燃え尽きた建物を表す。

可燃セルが燃焼セルに変化する条件は以下の2つとする。

条件1：近傍の8セルに燃焼セルがある場合  
条件2：8m以内の道路・空地セルを挟んで燃焼セルがある場合

延焼可能な可燃セルが燃焼セルに変化する確率  $p$  を

$$p = \frac{W_e \cdot C_b \cdot C_f}{C_d} \quad (1)$$

と定義した。式中の各パラメータは以下のように設定する。

$W_e$ ：風の影響を表すパラメータで、その計算式は

$$W_e = \begin{cases} \frac{W^2}{8} + 1 & (W \geq 0) \\ 1 & (W < 0) \end{cases} \quad (2)$$

で表される。

$C_f$  ( $0 \leq C_f \leq 1$ ): 燃焼セルの火の勢いを表すパラメータであり、消防の経験則より

$$C_f = \begin{cases} 1 - \left( \frac{t-7.0}{13.0} \right)^2 & \text{(木造)} \\ 0.7 \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{t-12.0}{18.0} \right)^2 \right\} & \text{(防火)} \end{cases} \quad (3)$$

と設定する。

$C_d$  ( $C_d \geq 1$ ): 建物間距離をあらわすパラメータであり、建物間距離が大きくなるとその値は大きい。

$C_b$  ( $0 \leq C_b \leq 1$ ): 無風状態でのセルの燃えやすさを表すパラメータで、セルの種類によって変化する。

$C_b$ として、東京消防庁の東京消防式 2001 を適用している。東京消防式 2001 は建物内と建物間で式が区別されており、木造住宅での建物内と建物間の延焼速度はそれぞれ

- 建物内延焼速度 (木造住宅)  
 $V = 52.1[\text{m/h}]$  (4)

- 建物間延焼速度 (木造住宅)  
 $V = (1.676 \times e^{0.576L}) \times (0.048U + 0.822)$  (5)

( $L$ : 建物間距離[m],  $U$ : 風速[m/sec]) となる。

この延焼速度  $V$ より、 $C_b$ を求める。まず建物内の場合、風速が 0m/s の時、延焼速度が 52.1m/h なので 1 時間で 52.1m進むということになる。本研究の手法では 1セルの大きさが一辺 1m であり、1 ステップ 0.5 分としているので、120 ステップで 52m進むということになり、延焼確率は 52/120 となる。この場合、風速が 0[m/s]なので  $W_e=1$  となる。建物は隣接しているので、 $C_d=1$ 、 $C_f$ は木造の全ステップの平均をとり約 0.77 となる。これらの値を延焼確率計算式に代入して、延焼確率が 52/120 となるように計算し

$$C_b = \frac{52}{120 \times 0.77} = 0.56 \quad (6)$$

とする。

また、防火セルの場合の  $C_b$ は、防火セルは木造セルより燃えにくいという性質より、防火セルの  $C_b$ を木造セルの半分の 0.28 とする。

建物間の場合の木造セル、防火セルのそれぞれの  $C_b$ についても同様に計算し、

$$C_b = \begin{cases} \frac{V}{92.4} & \text{(木造)} \\ \frac{V}{184.8} & \text{(防火)} \end{cases} \quad (7)$$

とする。

以上で求めた確率  $p$  と一様乱数  $rr$  ( $0 \leq rr \leq 1$ ) を比較し、 $p \geq rr$ の時に可燃セルは燃焼セルに変化する。

### (3) 電子住宅地図を用いた格子マップの作成法

電子住宅地図を用いた格子マップ作成は、ピクセルの色情報の取得とセルの状態の決定からなる。

まず、電子住宅地図上で格子マップの対象地域を指定し、その地域から 1メートル四方ごとにピクセルの色情報を取得する。

セルの状態の決定の流れを図1に示す。まず、指定領域を決まった順序でピクセルごとに走査し、建物色ならば比率によりランダムでそれぞれのセルの状態を決定する。建物色でない場合、道路・空地セルとなる。次に、セルの状態決定後、そのセルが属する建物の他のセルの状態をすべて同じものに設定する。これを指定領域の終端まで行うことで格子マップが完成する。

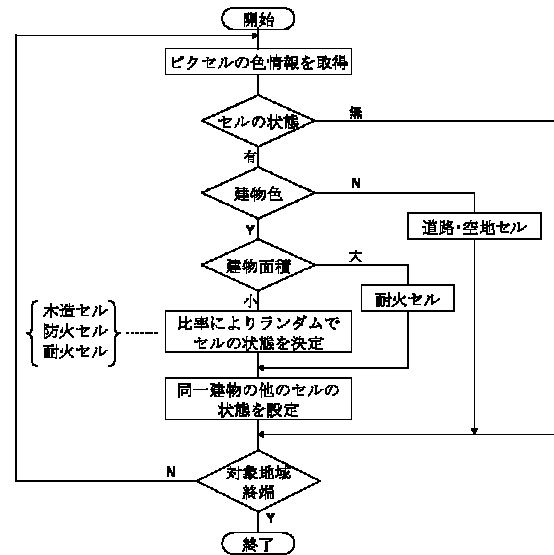


図1 セルの状態の決定

格子マップの作成対象地域における建物構造はこれまでの調査より、木造、防火、耐火の比率の違いによって、以下の3種類に分類する。格子マップ作成の際、地域の市街地構成の特徴に応じて、その中から1種類を選択する。また、面積が極端に大きい建物は耐火建物としている。

- 木造住宅多数(木造住宅が多数を占める地域)  
木造：防火：耐火 = 75 : 20 : 5
- 新築住宅多数(新築家屋が多い地域)  
木造：防火：耐火 = 60 : 33 : 7
- 集合住宅多数(集合住宅等が密集する地域)  
木造：防火：耐火 = 45 : 45 : 10

電子住宅地図を用いて構築した火災予測システムを図2に示す。このシステムを用いての格子マップ作成から火災予測シミュレーションまでの流れを以下に示す。ここでの番号はシステムメインウィンド右方の番号に対応している。

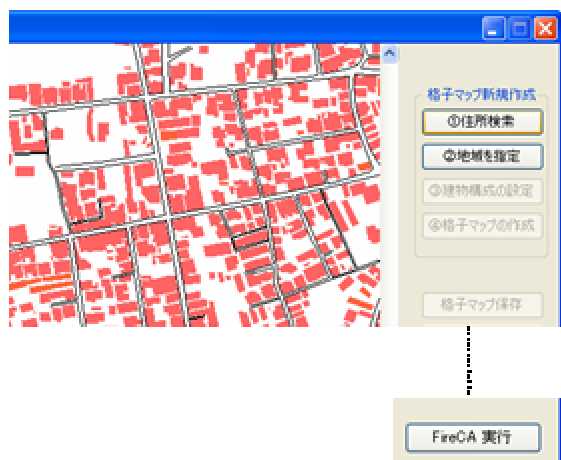
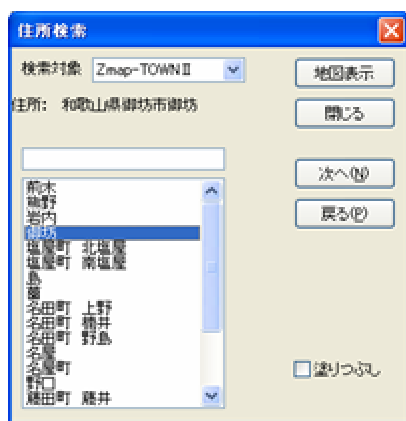


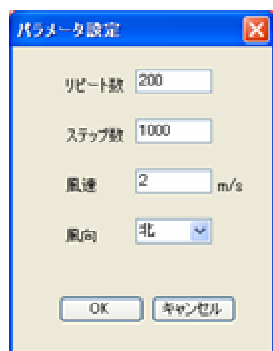
図2 火災予測システムのメインウィンド



(a)住所検索



(b)建物構成の指定



(c)パラメータ設定

図3 各種ダイアログ

- 住所検索ボタンをクリックすることで、住所検索ダイアログ(図3(a))を表示し、火災予測を行う地域の住所を選択する。

- 地域を指定ボタンをクリックした後、電子住宅地図上で火災予測を行う地域の中心をクリックすることで、格子マップの作成対象となる地域を決定する。
- 建物構成の設定ボタンをクリックすることで、建物構成の指定ダイアログ(図3(b))を表示し、建物構造(木造、防火、耐火建物の比率)を設定する。
- ②、③に対応する格子マップを作成する。
- FireCA 実行ボタンをクリックすることで、火災予測シミュレーションを実行する。

各ダイアログの機能を以下に示す。

- 住所検索ダイアログ: 指定した住所へ地図を移動、住所は番地まで指定可能
- 建物構成の設定ダイアログ: 木造建物防火建物、耐火建物の比率を3つの中から選択
- パラメータ設定ダイアログ: シミュレーション時に必要な情報を入力、風速は最大4[m/sec]、風向は8方向から選択

#### 4. 研究成果

##### (1) 市町村危険マップの作成

本研究では、御坊市名田地区を対象に火災予測シミュレーションを行い、時間ごとの各建物の延焼確率を示す危険マップを作成した。名田地区の特徴としては、木造建物が多く、建物が比較的密集していることである。また、実験条件は無風、木造住宅多数で、出火点は任意に指定した。作成した危険マップは図4である。

図4より、火災の延焼は出火直後から拡大していき、この地域の半数を超える建物が7時間後には全焼し、出火10時間後に鎮火に至った。しかし、この地域は、道路を挟み建物の密集地帯が東西に分断しており、その道路を越えて延焼が起こる確率は50%前後である。したがって、火災が発生した際には、道路を基準に出火点と反対側の建物の密集地帯を通して避難すれば比較的安全なルートを確認できると考えられる。

##### (2) 市街地の特性・構造の考察

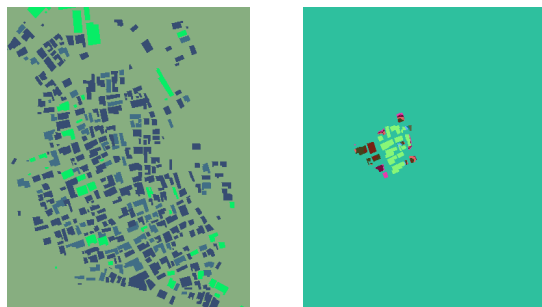
本研究で作成した格子マップは、建物構成を比率によりランダムで設定しているため、火災予測シミュレーションの結果が変化する可能性がある。そこで、本手法で作成したマップ図5(b)と実地調査を経て作成したマップ図5(a)を用いて、比較実験を行った。実験において、ランダムで設定したマップの建物構成はすべて『木造住宅多数』とし、3パターンのマップで結果を比較する。

それぞれのマップでの焼失面積の時間変化を図6に示す。これは200回シミュレーションの平均値である。

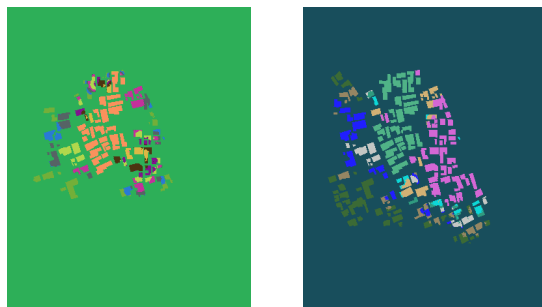
図6からランダムで設定したマップでの火

災予測結果は、グラフの勾配や最終的な延焼面積は実地調査のマップの結果とほぼ同等の結果となることがわかった。全体的には出火 2~5 時間の誤差が大きくなっている。これは、主に耐火建物の分布状況によって、火災の延焼拡大ルートが変化することが原因であると考えられる。特にマップ 1 に関しては、幅の広い道路近辺に耐火建物が多く分布したため、延焼面積が大幅に減少した。

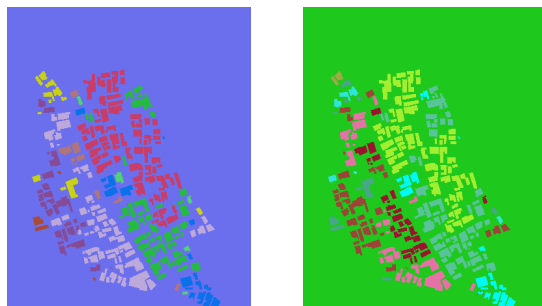
表 1 に実地調査のマップとランダムで作成したマップの誤差をそれぞれに示す。実地調査と比べ、延焼面積の差が最大となるときの誤差は -22.4%~15.5% となった。また、平均誤差の絶対値は最大でもマップ 1 の 12.3% であり、火災予測結果に大きな影響を及ぼすほどの誤差ではないと言える。



(a) 作成した格子マップ (b) 1 時間後



(c) 2 時間後 (d) 5 時間後



(e) 7 時間後 (f) 10 時間後

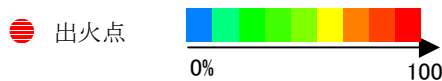
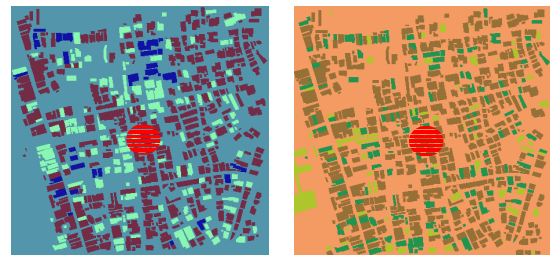


図 4 名田地区の危険マップ



(a) 実地調査 (b) ランダム設定

● 出火点

図 5 セルの状態設定法の検証

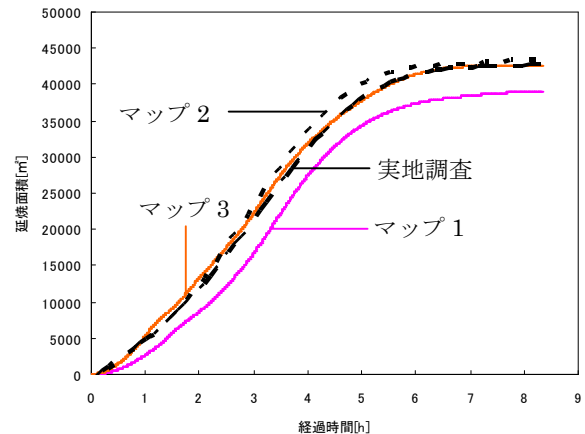


図 6 延焼面積の時間変化

表 1 ランダムで作成したマップの延焼面積の誤差

マップ	1	2	3
最大誤差 [%]	-22.4	15.5	9.2
平均誤差 [%]	12.3	1.9	4.4

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

- ① 謝 孟春, 野口 英之, “セルオートマトン法を用いた震災直後の市町村火災延焼危険マップの作成”, 情報処理学会研究報告, MPS-73, pp.121-124, (2009) 査読無
- ② M. Xie, “Representation of the Perceived Environment and Acquisition of Behavior Rule for Multi-Agent Systems by Q-Learning”, Proceedings of the 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents (ICARA2009), pp.453 - 457, (2009) 査読有
- ③ 謝 孟春, 岡崎 健, “Q 学習を用いた災害救助マルチエージェントシステムの視野情報のパターン化と学習”, 合同エージェントワークショップ&シンポジ

- ウム論文集 (JAWS2008), pp. 251-256, (2008) 査読有
- ④ M. Xie and Ken Okazaki, “Application of Multi-Agent Systems to Disaster Relief Using Q-Learning”, Proceedings of the IASTED International Conference on Software and Applications (SEA2008), pp.143 - 147, (2008) 査読有
- ⑤ M. Xie and Yasuaki Kinoshita, “GA Search Method for Multiple Evacuation Routes Using the Information of Hazard Map”, Proceedings of the IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Applications (AIA2008), pp.296-300, (2008) 査読有
- ⑥ 謝 孟春, 立花 敦, “マルチエージェントの協調行動の取得における Q 学習に関する考察”, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム論文集 pp.441-448, (2007) 査読有
- ⑦ M. Xie and A. Tachibana, “Cooperative Behavior Acquisition for Multi-agent Systems by Q-learning”, Proceedings IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence, pp424-428, (2007) 査読有

[学会発表] (計 11 件)

- ① 関本 正光, 謝 孟春, “複合要因を考慮した地震直後の火災予測システムの構築”, 平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集”, G11-17, (CD-ROM), (2008)
- ② 玉井 俊行, 謝 孟春, “震災直後の CA 火災予測システムにおける消火モデルの構築”, 平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G11-16, (CD-ROM), (2008)
- ③ 梶本 洋平, 関本 正光, 謝 孟春, “人間の行動を考慮した津波時の避難シミュレーションの開発”, 平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G11-15 (CD-ROM), (2008)
- ④ 西川 翔平, 謝 孟春, “障害物のある環境におけるマルチエージェントの協調行動の獲得”, 平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G11-14, (CD-ROM), (2008)
- ⑤ 古久保 貴大, 謝 孟春, “共生進化型 GA を用いたマルチエージェントシステムの最適化”, 平成 20 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G11-13, (CD-ROM), (2008)
- ⑥ M.Xie and Ken Okazaki, “Study of Disaster Relief Multi-Agent Systems Using Q-Learning”, The 2<sup>nd</sup> International Forum on Ecotechnology (IEF2), p5, (2008)

- ⑦ 松本 誉史, 謝 孟春, “時系列解析に基づいた農産物の生産量予測と最適化手法の検討”, 平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G287(CD-ROM), (2007)
- ⑧ 川口 祐一, 謝 孟春, “ハザードマップの情報を用いた津波災害の避難シミュレーションの開発”, 平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G257(CD-ROM), (2007)
- ⑨ 岡崎 健, 謝 孟春, “強化学習による災害救助マルチエージェントシステムの検討”, 平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G260(CD-ROM), (2007)
- ⑩ 野口 英之, 謝 孟春, “御坊・日高地区の震災直後の火災予測システムにおける格子マップ作成の効率化”, 平成 19 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G256 (CD-ROM), (2007)
- ⑪ 謝 孟春, 児玉 吉晃, “株式取引エージェントの強化学習における SOM を用いた状態入力ベクトルのクラスタリング法”, 人工知能学会研究会, SIG-KBS-A702, pp.33-38, (2007)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

謝 孟春 (XIE MENGCHUN)  
和歌山工業高等専門学校・  
電気情報工学科・教授  
研究者番号：90300574

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者