

新型シミュレータ開発プロジェクト

ワーキングペーパー・シリーズ

Project for New-Type Simulators

Working Paper Series

Working Paper No. 4

森林火災の拡大と樹木の密度

---- ABSの使用例 ----

山本 和也*

2000年2月

(* 東京大学大学院総合文化研究科博士課程)

「シミュレータ開発プロジェクト」は、研究・教育を目的としたマルチエージェント型や繰り返しゲーム型のシミュレータやソフトの開発を目指しています。このワーキングペーパー・シリーズは、プロジェクトの活動・成果の一端を公開するものです。

“Project for New-Type Simulators” is developing a multi-agent based simulator and a simulator of iterated cognitive games, among others, for scientific and/or educational purposes. This working paper series aims at disseminating interim but interesting outcomes of this on-going project.

科学研究費補助金・基盤研究(B)(1)展開(10552001)

東京大学大学院総合文化研究科国際社会科学専攻 山影 進 研究室

お問い合わせ: tasuke@waka.c.u-tokyo.ac.jp

はじめに

本稿は、ABS (Agent Based Simulator) というシミュレーション開発用ソフトで作成されたサンプルの一つである「森林火災モデル」の使用例を示すものである¹。このモデルは、ABS に用意されている 10 以上のサンプルのなかでも比較的単純なモデルであり、初めてコンピュータ・シミュレーションに接する者にとっては、扱いやすいモデルと考えられる²。

本稿は、三つの節から構成される。最初の節では、「森林火災モデル」がどのようなモデルであるのかを概説する。第二節では、このモデルで変更可能なパラメータとして唯一設定されている「樹木密度」を変更し、シミュレーション結果にどのような変化が生じるのかをみる。第三節では、サンプルプログラムを変更し、発火場所の変更や「風」の導入によるシミュレーション結果の変化を検討する。

1. 「森林火災モデル」の概要

このモデルは、森林火災が森林全体に拡大していく過程をシミュレートするものであり、その目的は、森林の樹木がどの程度の密度で存在すると延焼が大きくなるのかを調べることにある。

デフォルトでは³、空間が 50 × 50 の合計 2500 の地点から成る平面に設定されている (森林火災マップ)。樹木密度というパラメータが、平面内の樹木の密度を設定するものである。樹木密度が 0% であれば、平面には樹木は全く存在せず、50% では半分 (つまり 1250 本)、100% ですべての地点に樹木が配置される。配置の仕方は、ランダムに配置される。図 1-1 は、樹木密度 60% の森林画面の一例である。

出火は、平面の一番左の縦一列に存在する樹木すべてが燃え始めるというルールになっている (図 1-2 を参照)。延焼のルールは、各ステップで、燃えている樹木が隣接する樹木のうち、まだ燃えていないものがあれば、その樹木を燃やすというものである。例えば、図 1-3 のような場合、黒はすでに燃え尽き、赤が現在燃えている樹木、緑がまだ燃えていない樹木であり、白は樹木が生えていないことを意味しているが、現在燃えている赤の樹木

¹ ABS については、(株)構造計画研究所創造工学部ホームページ (<http://www2kke.co.jp>) まで。ABS は、マルチエージェント型シミュレーション開発用ソフトの一つであるが、この種のシミュレーションライブラリ・ソフトとしては、SWARM や StarLogo (StarLogoT) がある。SWARM や StarLogo が英語環境であるのに対して、ABS は、この種のシミュレーション用ソフトとしては、初めて日本語環境で利用できるように開発されたものである。SAWRM については、<http://www.swarm.org/index.html>, StarLogo (StarLogoT) については、<http://el.www.media.mit.edu/people/starlogo/>, <http://www.ccl.tufts.edu/cm/> を参照。

² ABS のサンプルモデルは、2000 年 2 月 1 日現在、<http://www2.kke.co.jp> からダウンロードが可能である。

³ サンプルプログラムは随時更新され、デフォルトやルールが変更されることもあるので、注意されたい。

は、右と右上の（隣接している）緑の樹木に火をつけ（赤くし）、自らは燃え尽きる（黒くなる）ということになる。

図 1-1 森林の配置（樹木密度 60%の一例）

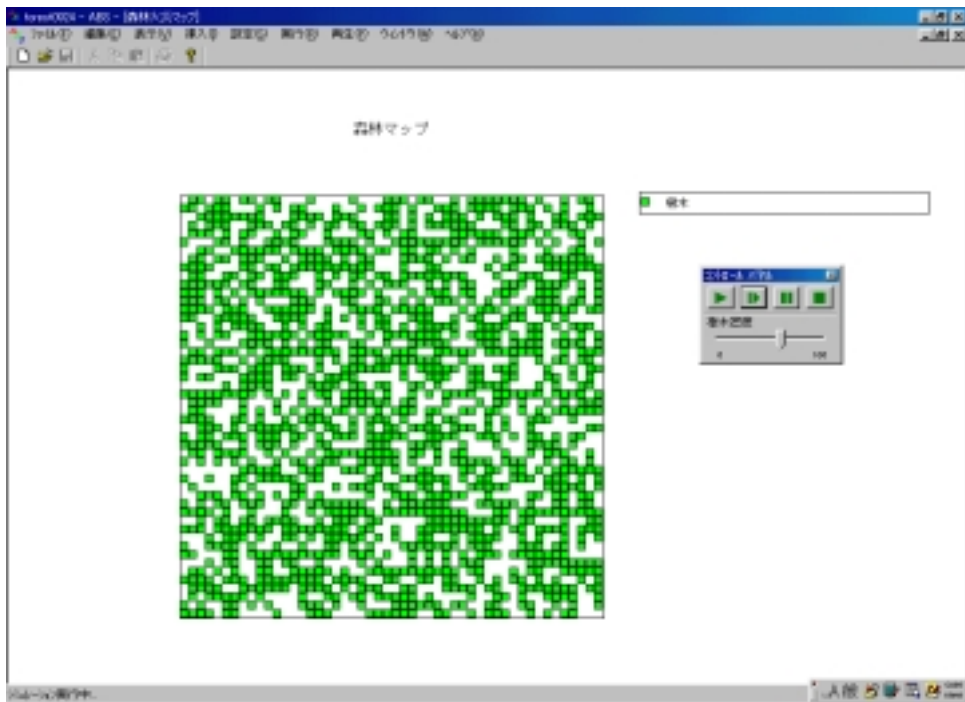


図 1-2 森林の出火（左端からの出火）

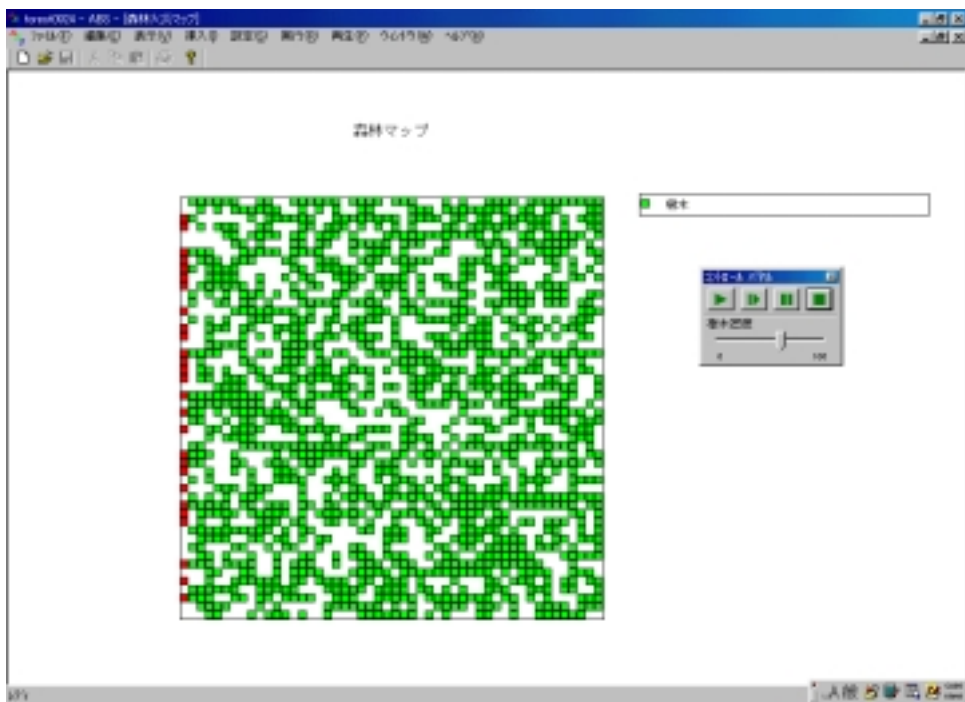


図 1-3 樹木の延焼ルール

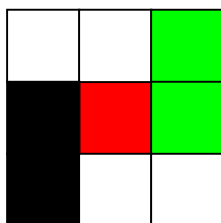


図 1-4 は、樹木密度 60%でのシミュレーション実行画面の例であり、図 1-5 は、延焼ルールを記述したソースコードである。

図 1-4 「森林火災モデル」実行画面の例（樹木密度 60%）

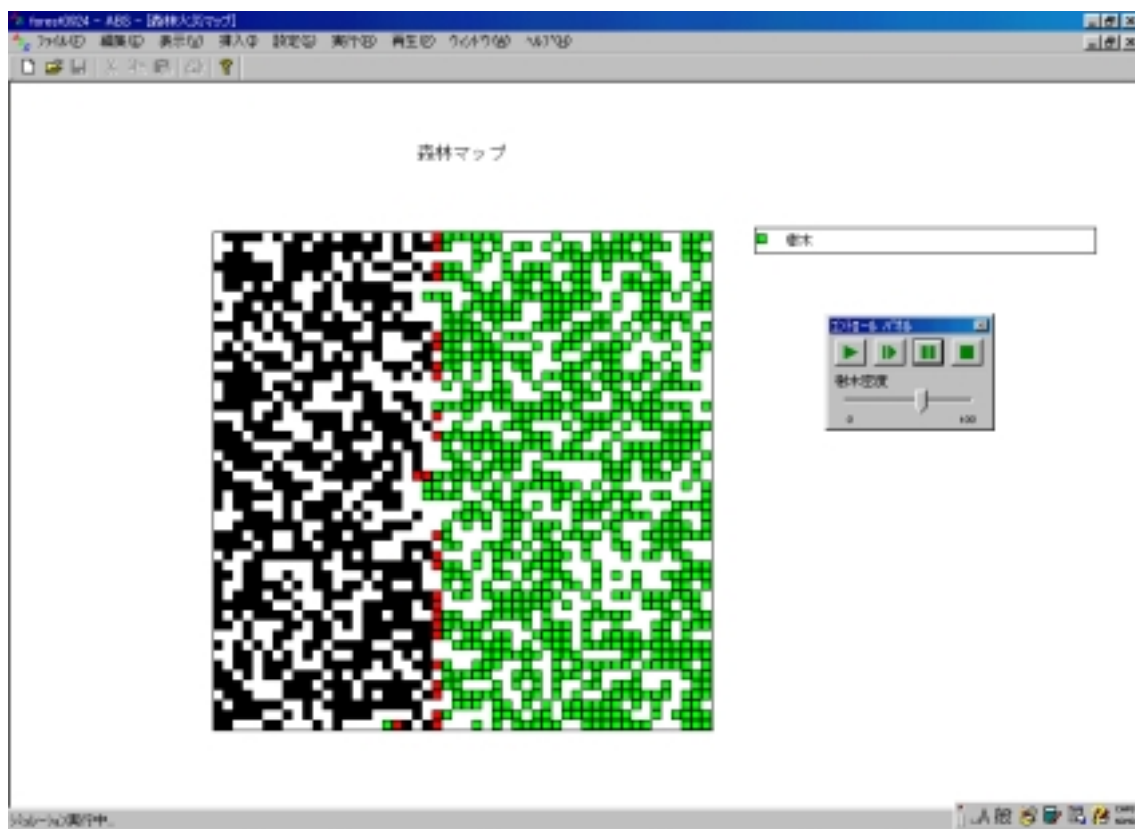


図 2-2 延焼のルール（ソースコードの一部）

```

forest024 - ABS - [ルール] 延焼 - 樹木
ファイル(F) 編集(E) 表示(O) 挿入(I) 設定(S) 実行(R) 再生(P) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)
検索 置換 3行, 25列
Agt_Init
//基本状態は燃えてない
my.色 = Color_Green
//左端だったら燃える(色を赤に)
If My.X == 0 then
  my.色 = Color_Red
End If
]

Agt_Step
Dim 周囲 as Collection
Dim 周囲の木 as Object
Dim Step as Integer

//もし自分が燃えていたら
If My.状態 == 1 then

  //色を黒(焼失)にする
  My.色 = Color_Black

  //周囲に燃え広がらせる
  周囲 = _CollectAround(My.X, My.Y, 1, World.二次元空間, World.二次元空間.樹木)
  For Each 周囲の木 In 周囲
    //もし燃えてなければ燃やす(色を赤にする)
    If 周囲の木.状態 == 0 then
      周囲の木.色 = Color_Red
    End If
  Next 周囲の木

End If
]
  
```

2. パラメータ（樹木密度）の変更とその影響

すでに述べたように、「森林火災モデル」には、変更可能なパラメータとして、樹木密度というものが設定されている。この節では、これを変化させて、樹木密度と火災の拡大の関係をみる。

パラメータを変更し、実行結果の変化をみるために、ここでは、0%～100%までの樹木密度を原則として10%刻みで変化させた。そして、各密度ごとに約20回のシミュレーションを実行し、おおよその結果を求めた。その結果が表 2-1 である。結果の特徴としては、40%、特に50%あたりで、焼失率が急速に増大するという特徴がみられた⁴。これは、デフォルトでは、燃えている樹木は接している樹木を必ず燃やすというルールになっていることに起因すると思われる。樹木密度が、40%、特に50%を超えるとほぼすべての樹木が接する樹木を持つことになり、確実に延焼を引き起こすことになる。後に見るように、このルールを変更し、接する樹木の一部にしか引火しないようにすると、全焼に至る森林密度

⁴ 焼失率とは、燃えた樹木 最初に森林に存在した樹木 × 100 の値である。

の値は大幅に上昇する。

表 2-1 樹木密度と焼失率の関係

樹木密度 (%)	焼失状況
0	燃えた木なし。焼失率：0%。
10	10本前後で鎮火。焼失率：4%。
20	20本程度を中心にして、たまに最大30超、最小一桁。焼失率：4%前後(多い)。
30	30本程度の場合もあるが、100本以上に達することもしばしば。焼失率：5%~10%が多いが、時には10%後半も。
40	100本~800本とばらつきが大きい。焼失率：40%後半~60%程度が多い。
50	ほぼ全焼(多くの場合、1200本以上焼失)。焼失率：95%以上。
60	完全に焼失されないが、残るのは5本以下がほとんど。焼失率：99%。
70	全焼。まれに1、2本残るケースもある。
80以上	全焼。

3. ルールの変更とシミュレーション結果

以下で行ったルールの変更は、(1)左端(線)ではなく、中央(線)から出火させる、(2)中央からの出火を線ではなく、一点から出火させる、(3)(2)に加えて、風を吹かせる、(4)出火場所をランダムに決定された一点とし、風も吹かせるというものである。

(1)については、詳しい説明は不要と思われるが、図1-2に示した左端からの出火ではなく、図3-1に示したように、空間の中央から出火させるものである。これは、森林火災が必ずしも森林の「入り口」から発生するものではないことを考慮した変更のうちの最初のものである。(2)は、火災を線として発生させるのではなく、落雷やタバコの不始末を想定して一点から出火させたものである(図3-2を参照)。

図 3-1 出火場所を中央（線）にした画面の例

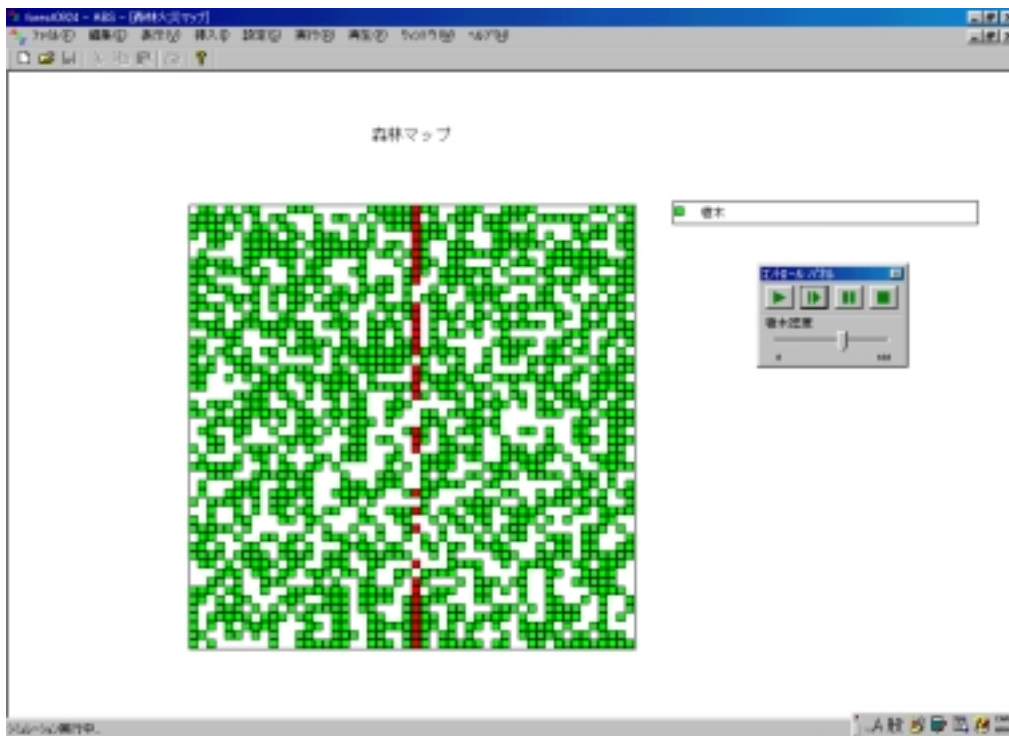
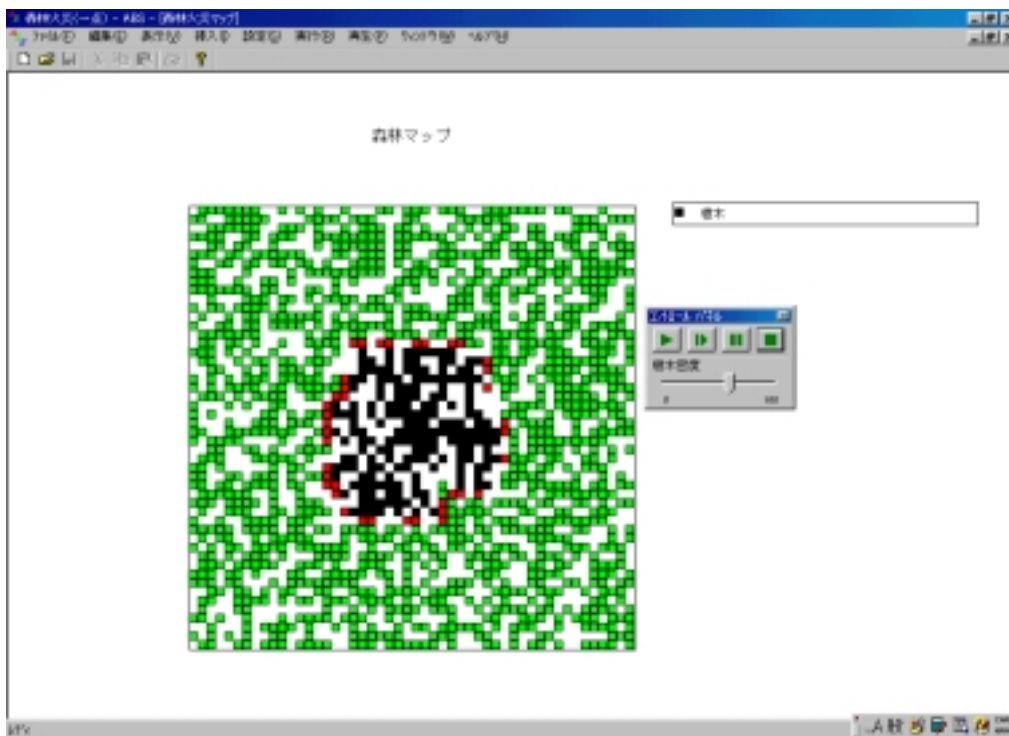


図 3-2 出火場所を中央（一点）にした画面の例



(3)は「風」による延焼の変化を見るための変更である。ここで導入した「風」のルールは、風が東西南北の四方向のうち、一方向のみ吹くものとし、風下の樹木だけが焼失するものとした。具体的には、例えば、図3-3に示したような状況があったとする。風なしのルールの場合、緑の樹木4本すべてが燃えることになるのに対して、風を導入し、南風が吹いたとすると、燃えている樹木(赤)の北にある2本の樹木(北西と北東)のみが燃え(赤になり)、残りの樹木(東と南東)は燃えずに残る(緑のまま)ことになる。

図3-3 風ルールの説明

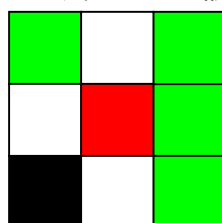
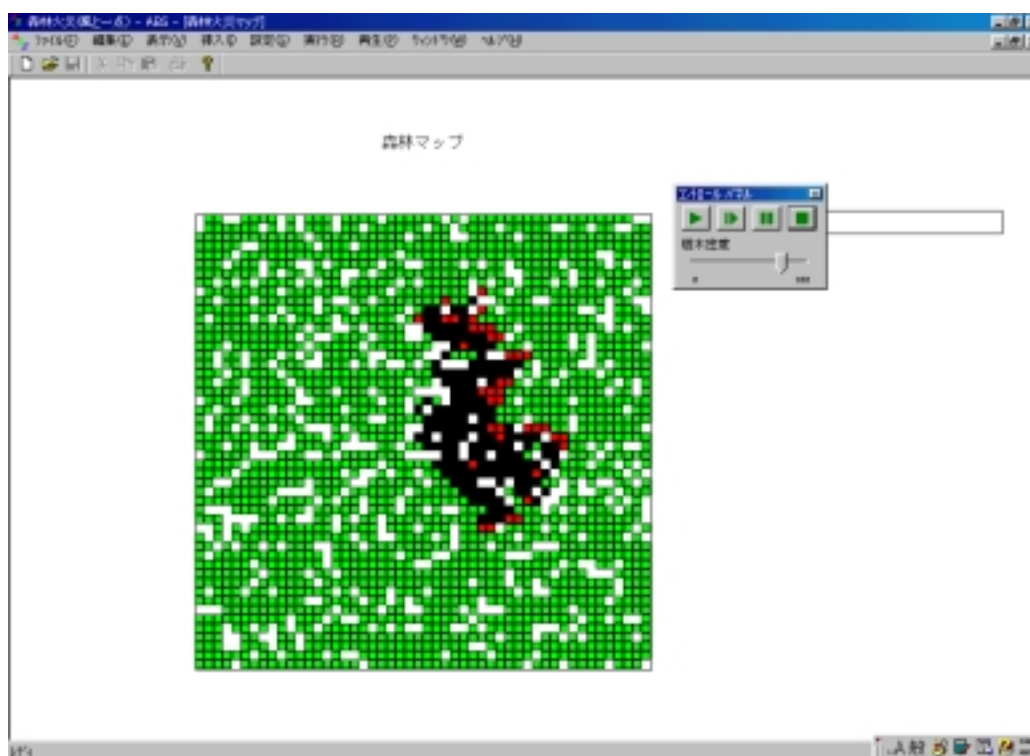
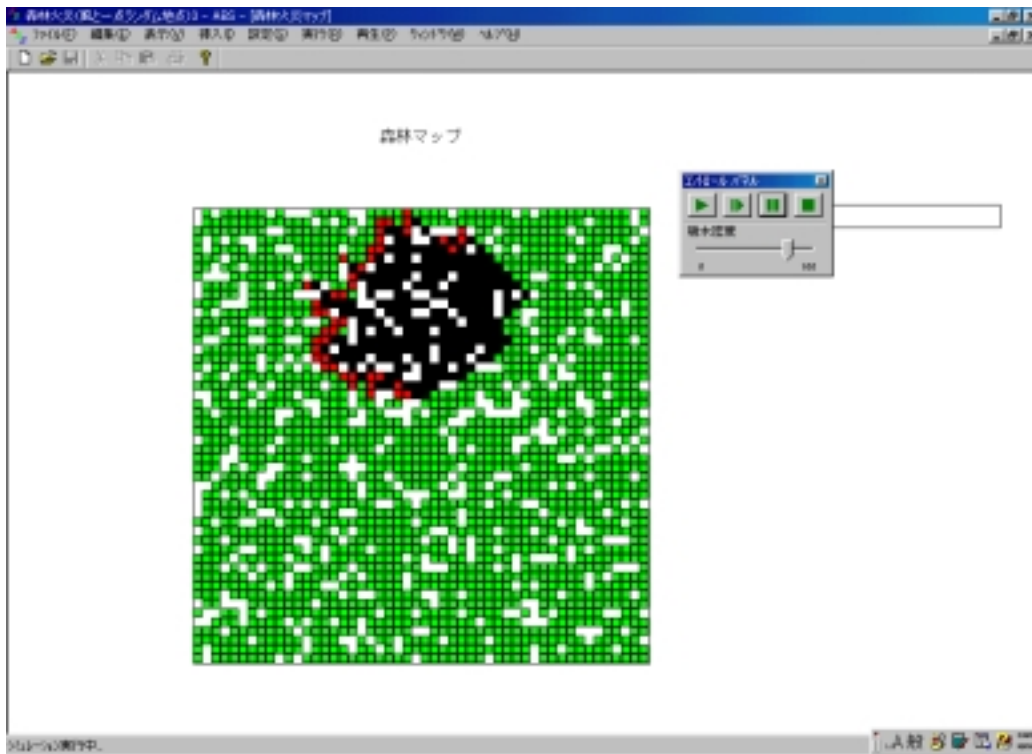


図3-4 出火場所が中央の一点とし、風を導入した画面の例



(4)は、(3)を修正し、発火場所を中央の一点ではなく、ランダムに決定される一点としたものである。これは、偶然、森林の端に近いところから発火した場合、風向きによっては(森林の外に向かって風がよく吹いた場合)ほとんど延焼しないのではないかという仮説から設定した修正である。

図 3-5 出火場所をランダムとし、風を導入した画面の例



実行回数は各変更に対して 20 回程度とした。実行ごとの相違も少なくなかったが、大まかな結果は、次のようなものであった。

表 3-1 出火を中央（線）にした場合（ルール 1）

樹木密度（％）	焼失率（％）
10	0 ~ 6
20	2 ~ 10
30	10 ~ 25
40	50 ~ 80
50	90
60 以上	99 ~ 100

表 3-2 出火を中央の一点にした場合（ルール 2）

樹木密度（％）	焼失率（％）
10～20	1
30	1～5
40	30～50
50	95
60以上	99

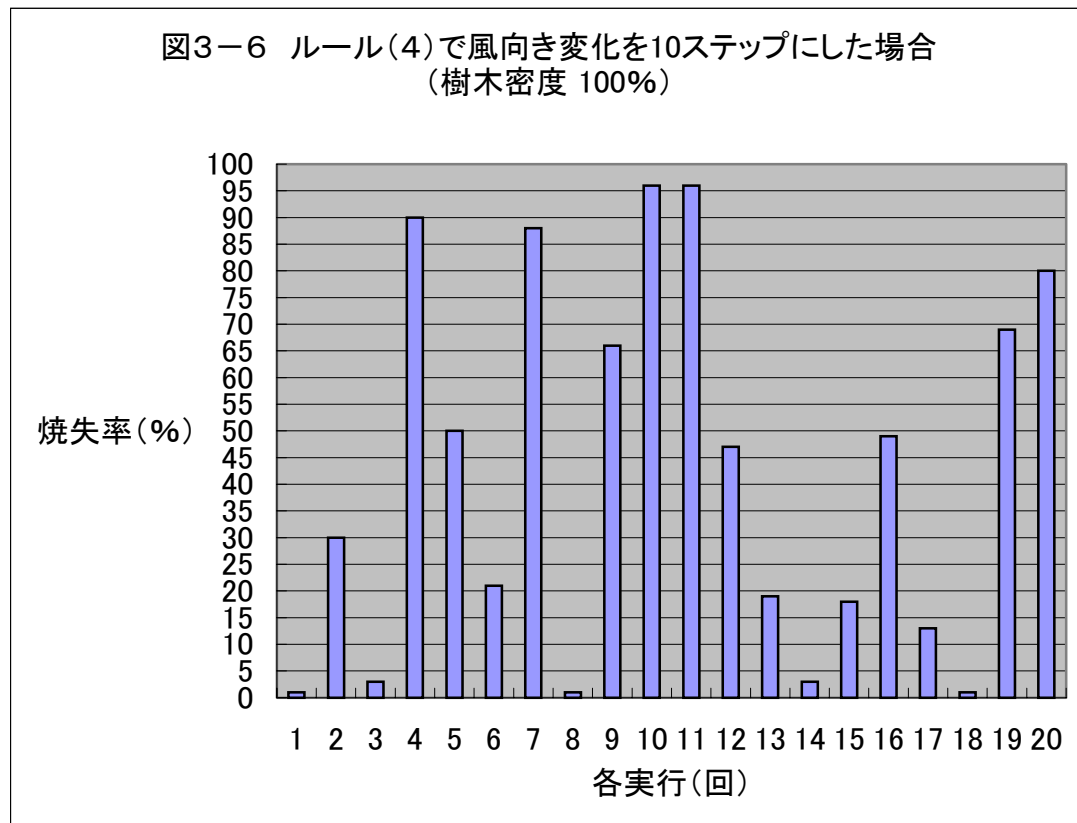
表 3-3 出火を中央の一点とし、風を導入した場合（ルール 3）

樹木密度（％）	焼失率（％）
10～50	1
60	5
70	10～20
80	30～40
90	70～90
95	80～95
100	95

表 3-4 出火場所を一点ランダムとした場合（風あり）（ルール 4）

樹木密度（％）	焼失率（％）
10～40	1
50	1～2
60	2～6
70	20～40
80	30～70
90	50～90
95	90～95
100	95

図3-6 ルール(4)で風向き変化を10ステップにした場合
(樹木密度 100%)



結果を大まかに分析すると、風を導入するまでの変更では、樹木密度 40～50%で焼失率が大きく上昇するというデフォルトでの実行とさほど変わらない。ところが、風を導入すると、樹木密度が 90%を超えてようやく焼失率も 90%程度になった。

風によるこの変化は、次の理由によるものと考えられる。樹木は最大で 8本の隣接する樹木を持ちうるが、風を導入すると、燃えている樹木が 1ステップで延焼する樹木は(風下の樹木とその左右の樹木の) 3方向に限定される。そして、次のステップでは、前のステップで燃えていた樹木はすでに消えているので、残りの 5方向に存在する(かもしれない) 樹木を燃やすことはない。この結果、1ステップですべての方向の樹木を燃やしてしまうルールである風なしの場合よりも、燃えないで残る樹木が多くなると考えられる。

さて、風を導入した実行では、ルール 3で出火場所を中央の一点としたのに対して、ルール 4ではランダムな一点とした。すでに述べたように、これは、風を吹かせた上で、出火場所をランダムとすると、偶然、出火場所が森林のの端のほうになり、さらに最初の風向きが外の方に吹いた場合には、たとえ樹木密度が 100%近くでも直ちに消火してしまうのではないかという仮説をみるためであった。しかしながら、表 3-4で示した実行では、このような結果は得られなかった。

これは、風ルールにその原因があったと考えられる。表 3-4の実行では、1ステップごとに風向きをランダムに変化させた。このため、風が外に吹いたとしても直ちに内側に吹き

始め、外に吹いている間に鎮火することがなかったものとみられる。この仮説を確かめるために、10 ステップ後に風向きが変化するルールで実行を行うと、樹木密度が 100%の場合でも、最初の風向きによっては 5 %未満の焼失率しか生じないケースが見られた。これを示したのが、図 3 - 6 である。図 3 - 6 では、樹木密度を 100%とし、20 回の実行を行ったが、そのうちの 5 回の実行で、焼失率が 5 %未満となった (1、3、8、14、18)。また、焼失率が 90%を超えたケースは 3 回 (4、10、11) となり、風がない場合や頻繁に風向きを変える場合に比べて、延焼が起こりにくいという傾向がみられた。

むすびにかえて

本稿では、単純なルールで森林の延焼が起こり、また、操作できるパラメータが一つという簡素なシミュレーションモデルを用いることによって、厳密な分析ではないものの、シミュレーションによる分析のやり方を簡単に示そうとしてきた。

もちろん、コンピュータ・シミュレーションの分析手法はいまだ確固としたものが存在するわけではなく、ここでのやり方も一例に過ぎない。シミュレーション研究に興味を持つ読者が、より洗練された分析手法を練り上げていく上で、本稿が一助となれば幸いである。