

シミュレーションの考え方

財団法人 消防科学総合センター
研究員 山 瀬 敏 郎

1. シミュレーションとは

シミュレーションという言葉には、本来「ものまね」あるいは「模擬実験」という意味がある。一般にシミュレーションとは、自然現象や社会現象などの実世界のある現象を、それと同等のふるまいをする模型（モデル）を作ることによって調べるシステム工学的な手法をいう。コンピュータプログラムでモデルを作成しシミュレーションを行うことを特にコンピュータシミュレーションという。コンピュータシミュレーションは、実物を扱ったり物理的な実験を行うことが困難な現象を取扱う場合に非常に有効な方法であり、多くの分野で広く適用されている。今回は、コンピュータシミュレーションの基本的な考え方について述べる。

2. 確率的シミュレーション

サイコロを振ったとき何の目が出るかという事象を考える。サイコロは、どの目が出る確率も同じで $\frac{1}{6}$ であることはわかっている。しかし実際に振ったときに何が出るかはわからない。打率3割5分の打者が今回ヒットを打つかどうかという事象についても同じことがいえる。このような事象を確率的事象といい、確率的事象を扱うシミュレーションを確率的シミュレーション、あるいはモンテカル

ロシミュレーションと呼んでいる。

2.1 一様乱数

規則性が全くなく、出現比率が一様な一連の数列を一様乱数という。例えば1桁の一様乱数では、0から9までの数字がランダムに出現し、それぞれの数字の出現比率はすべて0.1である。この乱数が確率的シミュレーションの基本となる。完全な乱数を人為的に作り出すことは容易ではない。コンピュータシミュレーションではプログラムによって乱数を発生させる。これは擬似乱数といって、完全な乱数ではないが実用上特に問題はない。

シミュレーションを行うにあたって、一様乱数は、0から1までの間に連続的に一様に分布する乱数列として発生させる場合が多い。これを $[0, 1]$ 上の一様乱数と呼んでいる。このような乱数列の例を図1に示す。試行として10,000個の一様乱数を発生させて、区間別の出現頻度を調べてみたのが表1である。これから $[0, 1]$ 上にほぼ一様に分布していることがわかる。

2.2 硬貨投げのシミュレーション

硬貨投げのシミュレーションを行ってみる。硬貨を投げて表が出る確率と裏が出る確率はそれぞれ $\frac{1}{2}$ である。これは次のように考えればよい。

① $[0, 1]$ 上の一様乱数を発生させる

0.550967000 0.543443000
 0.635863000 0.531664000
 0.104110000 0.316403000
 0.806334000 0.466435000
 0.042907300 0.102909000
 0.953862000 0.979818000
 0.354289000 0.144224000
 0.556498000 0.281980000
 0.445778000
 0.013128700

図1 【0, 1】上の一様乱数の列

表1 【0, 1】上の一様乱数の区間別出現頻度
(10,000回の試行結果)

区 間	出現頻度
0.0~0.1	1,009回
0.1~0.2	1,000
0.2~0.3	1,035
0.3~0.4	998
0.4~0.5	989
0.5~0.6	947
0.6~0.7	998
0.7~0.8	1,025
0.8~0.9	1,053
0.9~1.0	946
計	10,000

表表裏表裏裏裏表裏裏表裏裏表裏裏表裏裏表裏裏表裏裏
 表表裏表裏裏表表裏裏裏表表裏裏裏表表裏裏裏表表裏裏
 表裏表裏裏表表表表表裏表裏裏表表裏裏表表裏裏表表裏
 表裏表表表表表表裏表裏裏表表表表表裏裏表表表表表表

```

FOR I=1 TO 100  → NEXT Iまでの処理を100回くり返す。
R=RND          → 【0,1】上の一様乱数を発生させてRとする。
IF R<= 0.5 THEN PRINT "表"; → R≤0.5ならば“表”と印刷する。
IF R> 0.5 THEN PRINT "裏"; → R>0.5ならば“裏”と印刷する。
NEXT I
STOP

```

図2 硬貨投げシミュレーションの試行結果とプログラム

(Rとする)。

② Rが0.0から0.5の間であれば表が出たとする。

Rが0.5から1.0の間であれば裏が出たとする。

硬貨投げシミュレーションの100回の試行結果とそれを行うための BASIC プログラムを図2に示す。今回の試行では、表と裏の出現回数はそれぞれ49回と51回であり、出現率は $\frac{1}{2}$ に近くなっていることがわかる。

2.3 出火のシミュレーション

大規模地震が発生した場合、どこで火災が発生するかを予測することは非常に困難である。もちろん火災が発生しやすいと思われるところをある程度把握することは可能であろう。しかし火災の発生しやすいところで必ず発生するわけではない。このように火災の発生は確率的な事象とみなすことができる。

地震時の同時多発火災に対して現有の消防力でどの程度対応できるか、また地震時の消

防計画は妥当なものかどうかなどを評価したいことがある。このようなとき、乱数を用いた確率的なシミュレーションが役に立つ。

シミュレーションの方法としては、例えば次のようなものが考えられる。

- 地区（町丁目等）ごとに出火確率（出火する可能性のようなもの）を定めて、乱数により出火するか否かを決める。
- 地域全体で予想される出火件数を想定し、乱数により各地区の出火危険度に応じてふり分ける。

いずれにしても、シミュレーションを行う以前に地区の出火確率や出火危険度を想定することが重要でかつ困難な作業になるが、その問題についてはここでは触れない。

このような方法で消防力の評価を行う場合の手順の一例を図3に示す。まず確率的に出火パターン（同時多発火災）を作り出し、それに対して消防計画に基づいて出動を行ったときの効果を算定する。この処理を数多くの出火パターンについて行い結果を統計的に評

価することになる。これによりいくつかの消防計画案を比較検討することも可能になる。

3. 決定的シミュレーション

確率的シミュレーションでは、予測が困難な事象を確率という概念でとらえた。これに対して決定的シミュレーションでは、ある程度予測が可能な事象を数式等によりとらえる。したがって、前者では数多くの試行を行いその結果を統計的に評価するのに対し、後者では解が一義的に求められ、一度の実行結果を評価することになる。

決定的シミュレーションの一例として火災延焼シミュレーションについて考える。これは、市街地に火災が発生したとき、放っておくとどのように拡大していくかを予測するものである。火災の延焼には、飛火などのように予測困難な確率的側面もあるが、ここでは決定的シミュレーションとして取り扱う。

3.1 市街地の抽象化

延焼シミュレーションを行うためには、まず対象とする市街地をシミュレーションの目的に応じて抽象化する必要がある。市街地の表現方法にはメッシュ法とポリゴン法がある。メッシュ法は、市街地を一定間隔の格子で区切る方法である。ポリゴン法では、市街地を任意の多角形で区切ることができ、延焼シミュレーションでは街区で区切ることが多い。両者の概念を図4と図5に示す。メッシュは、処理は簡単であるが実際の市街地との対応がつきにくいといった特徴がある。ポリゴンの場合はその逆のことが言える。メッシュとポリゴンのどちらを用いるか、また1つのメッシュあるいはポリゴン（街区）の大きさをどの程度にするかは、シミュレーション

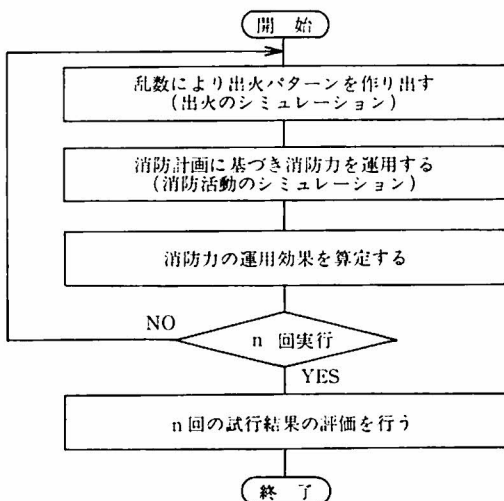


図3 消防力評価のシミュレーション例

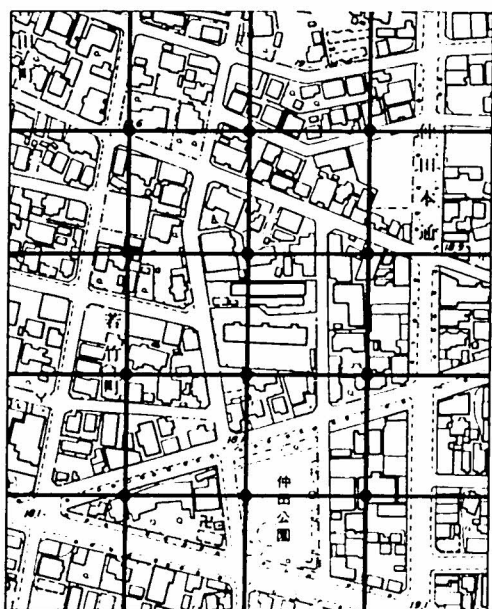


図4 メッシュ法による地域の分割例

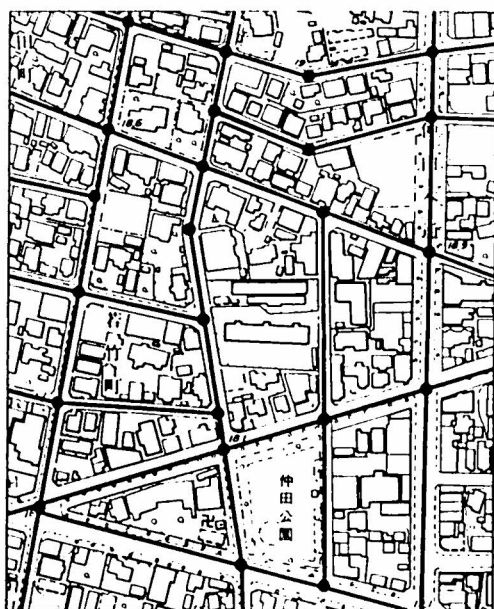


図5 ポリゴン法による地域分割例

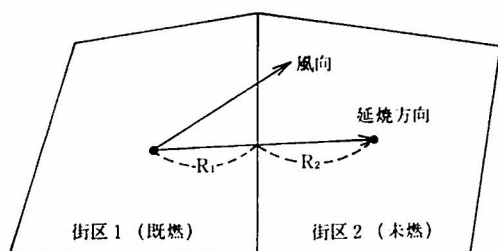


図6 延焼のモデル化の概念図

街区2の延焼時刻 T_2

$$T_2 = T_1 + \frac{R_1}{V_1} + \frac{R_2}{V_2}$$

T_1 : 街区1の延焼時刻

V_1 : 街区1内の延焼速度

V_2 : 街区2内の延焼速度

結果の利用目的に応じて決めることになる。

3.2 延焼機構のモデル化

火災の延焼を数式で表現する。街区表現を例にとりモデル化の考え方の一例を示す。

①街区を延焼の単位とする。すなわち、各街区は、すでに延焼したか（既燃街区）まだ延焼していないか（未燃街区）のどちらかである。1つの街区の中の延焼の程度に

ついては考えない。

②既燃街区から隣接する未燃街区へ延焼するときの延焼距離は、2つの街区の中心間の距離とし、延焼時間は図6のように計算する。

③延焼速度は、浜田博士の延焼速度式をもとに計算する。したがって、各街区の木造建物（普通木造、防火木造）建ぺい率及び

木造、耐火建物の混成率によって決まる。
また、風速と風向（延焼方向と風向のなす角度）にも依存する。

④街区間の境界道路の延焼阻止効果を考慮するためには、火災が道路を突破するのに要する時間を計算するための方法を決める必要がある。

3.3 計算手順の考案

ここでいう延焼シミュレーションとは、最初に出火点を決めて、対象とする市街地の各街区の延焼時刻を計算することである。そのための効率的な計算手順（アルゴリズム）を考案する。

3.4 データの整備

延焼シミュレーションに必要なデータを作成する。浜田式を用いる場合は、街区ごとに建物構造別の建築面積を調査し、木造建物建

ぺい率及び木造、耐火建物の混成率を算出する。

以上の考え方に基づく延焼シミュレーションの出力例を図7に示す。

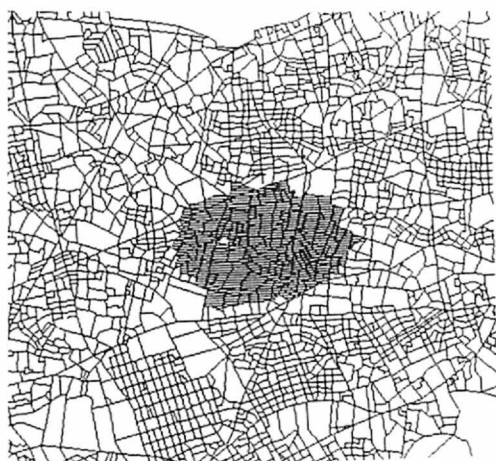


図7 延焼シミュレーション出力例

アンケート調査のすすめ

アンケート調査は、市町村や消防本部の防災対策を検討するのに極めて有効な方法です。例えば、災害時の防災機関や住民の対応に関する調査により、その行動の特徴や対応上の問題点が明らかとなり、情報収集・伝達や避難等の防災計画の立案に生かすことができます。また、建物の防火管理の実態調査により、防火管理指導の留意点を明確に知ることができます。このように、アンケート調査は、利用の仕方によって防災対策を改善する際のポイントを知ることができます。

当センターでは、防災に関する各種の調

査資料を全国的に収集するとともに、数多くのアンケート調査を手がけてきた実績があります。私共にご委託願えれば、次のような形で皆様のご要望にお答えすることができます。

- ① 調査票の設計
- ② 集計表の作成
- ③ 集計結果の分析
- ④ 結果の活用方法の提案

なお、その他消防防災に関する各種調査研究の委託等についてもご相談させていただいております。

財消防科学総合センター