

スーパーコン2024本選問題

森林火災の消火

問題背景

- ・ コンピュータシミュレーションによる自然災害の予測 (気象、地震、津波の伝搬、…)
- ・ 森林火災：災害であるが森林形成過程の一部でもある。
- ・ ベクトルノードをもつSQUIDという計算環境



森林火災モデル

海に囲まれ、森林に覆われたある島で

空間/ 時間を離散的に分解

セル $n = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1$

時間 $t = 0, 1, 2, \dots$

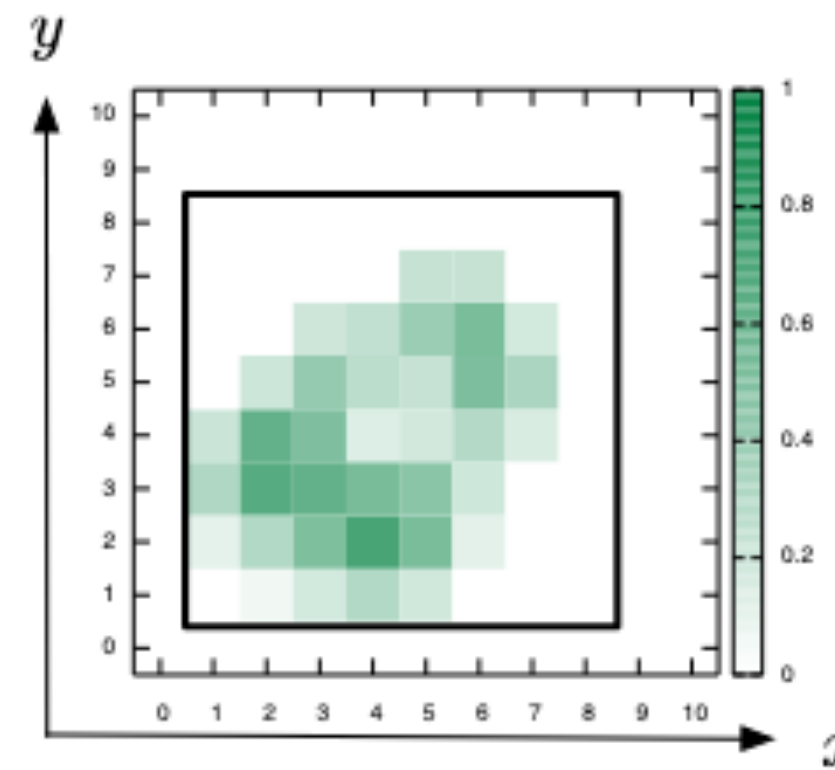
時間発展 感染症伝搬のモデルであるSIRモデルに類似

$$T_n(t+1) = T_n(t) - \phi(h_n(t))T_n(t)$$

$$F_n(t+1) = F_n(t) + \phi(h_n(t))T_n(t) - \gamma F_n(t)$$

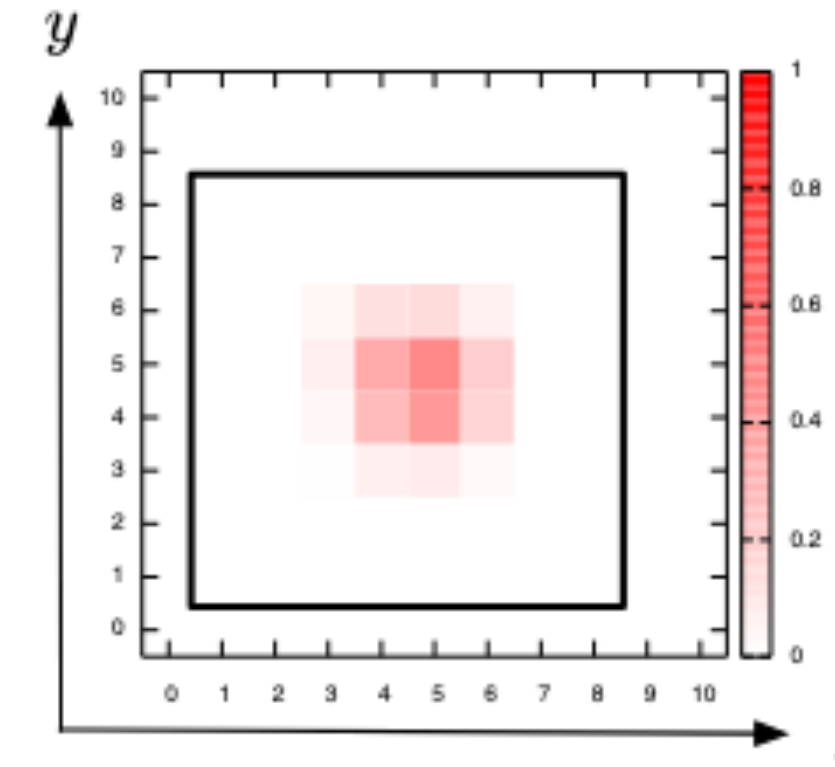
$$E_n(t+1) = E_n(t) + \gamma F_n(t)$$

密度の和は時間変化しない $T_n(t) + F_n(t) + E_n(t) = 1$



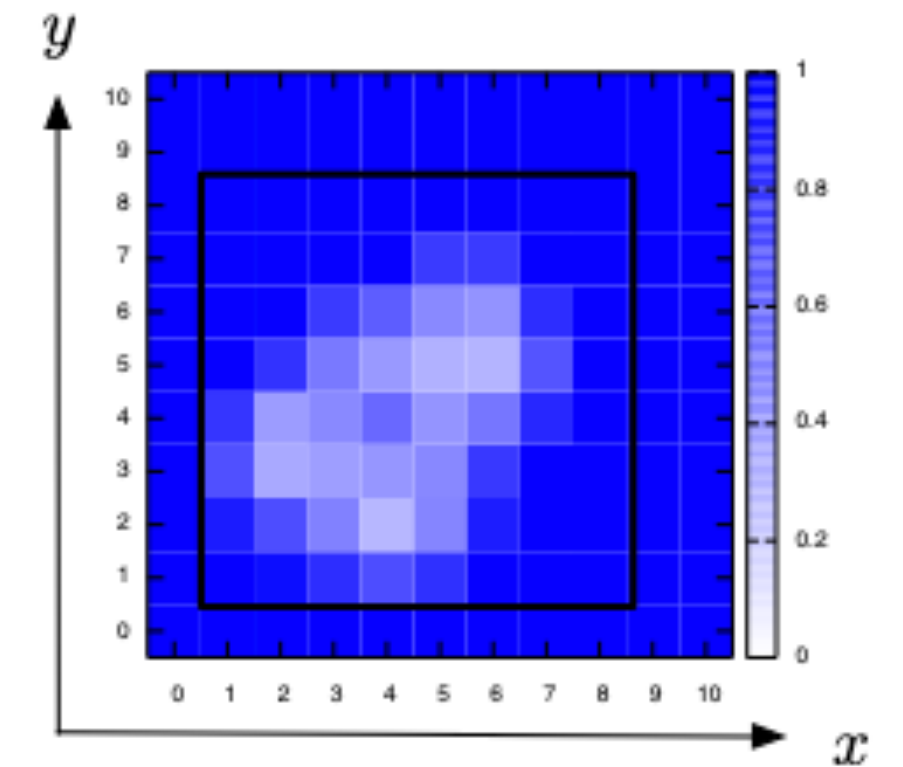
燃えていない木の密度分布

$T_n(t)$



燃えている木の密度分布

$F_n(t)$



燃えてしまった木の密度分布
(あるいは海)

$E_n(t)$

燃えていない木に引火する過程

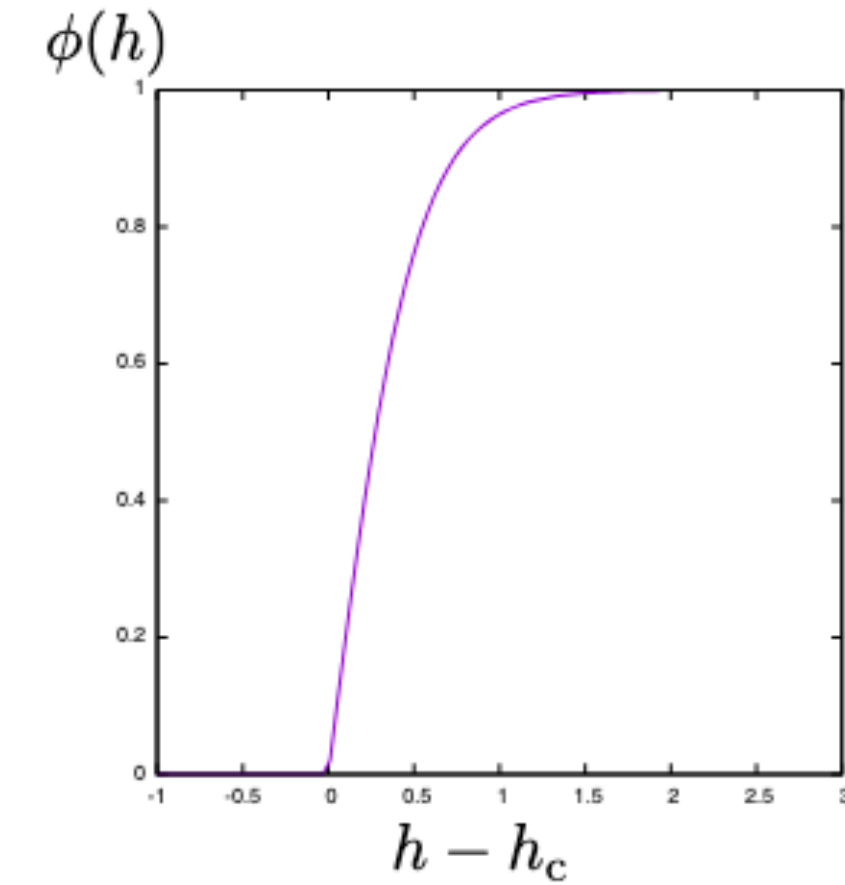
燃えている木の燃焼が
終わってゆく過程

森林火災モデル

燃えていない木に引火する過程

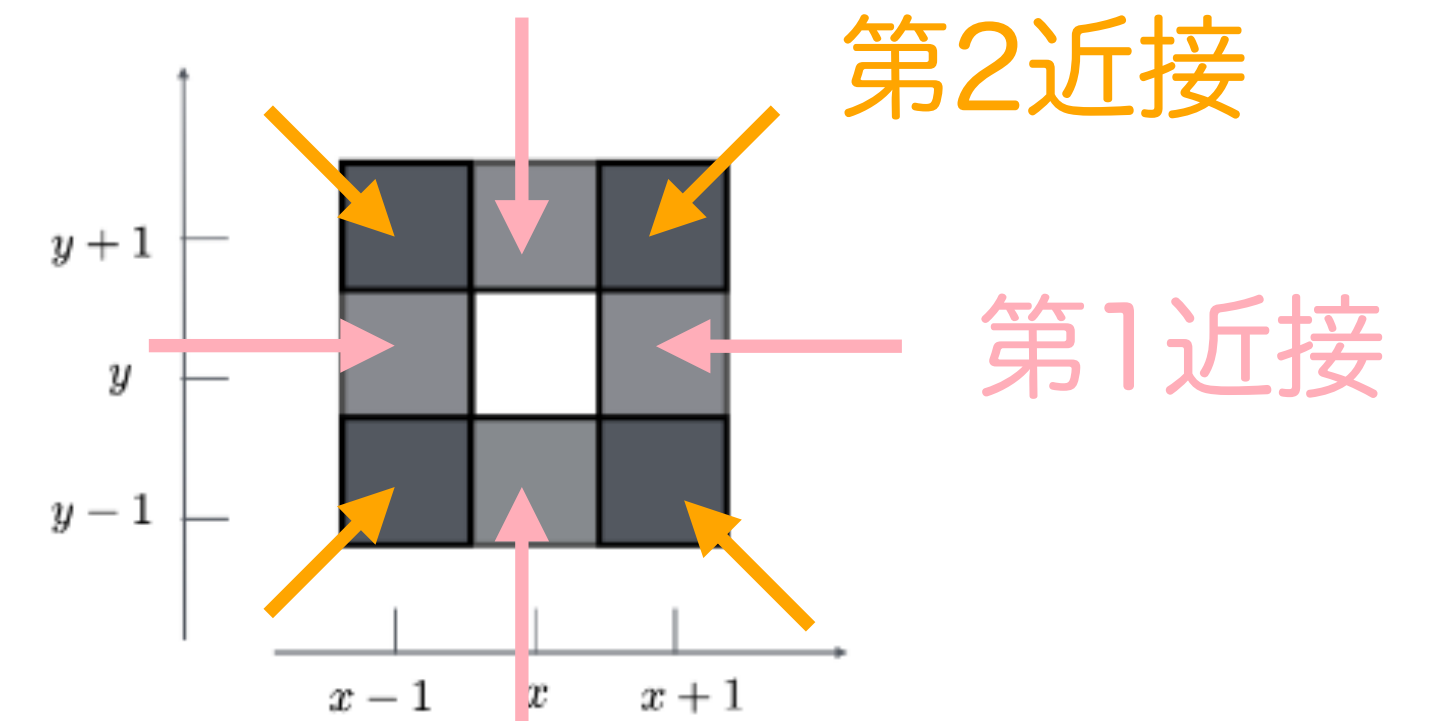
$$\phi(h) = \begin{cases} 0 & h < h_c \\ \tanh(A(h - h_c)) & h > h_c \end{cases}$$

閾値
↙

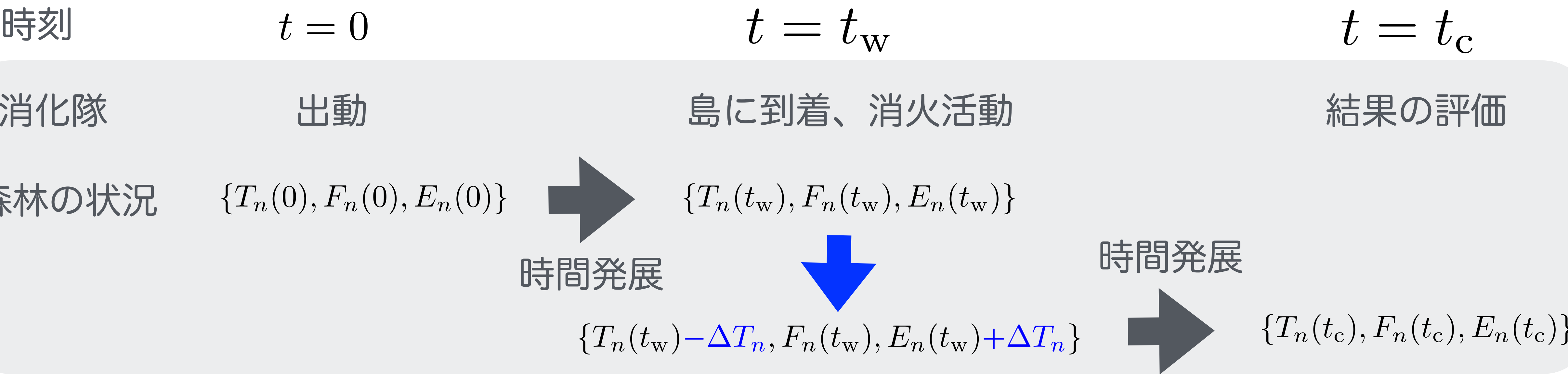


引火させようとする効果の強さ

$$\begin{aligned} h_n(t) = & \beta_1 F_n(t) \\ & + \beta_2 \sum_{m \in n \text{ の第 1 近接}} F_m(t) \\ & + \beta_3 \sum_{m \in n \text{ の第 2 近接}} F_m(t) \end{aligned}$$



消火活動のシミュレーション



消火活動：予防的に木を切り倒す

予算的制約

$$\Delta T(n) \geq 0 \quad \forall n$$
$$\sum_{n=0}^{N_c-1} \Delta T(n) < R \sum_{n=0}^{N_c-1} F_n(t_w)$$

残っている木の量

$$S = \sum_{n=0}^{N_c-1} T_n(t_c)$$

問題: S をなるべく大きくするように $\Delta T_n (n = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1)$ を決めて欲しい。時刻 t_w と t_c 、時刻 $t = 0$ での森林の状態が問題で与えられる。

問題

島を囲む海を含めた正方形領域

一辺の長さ $L = 1000$

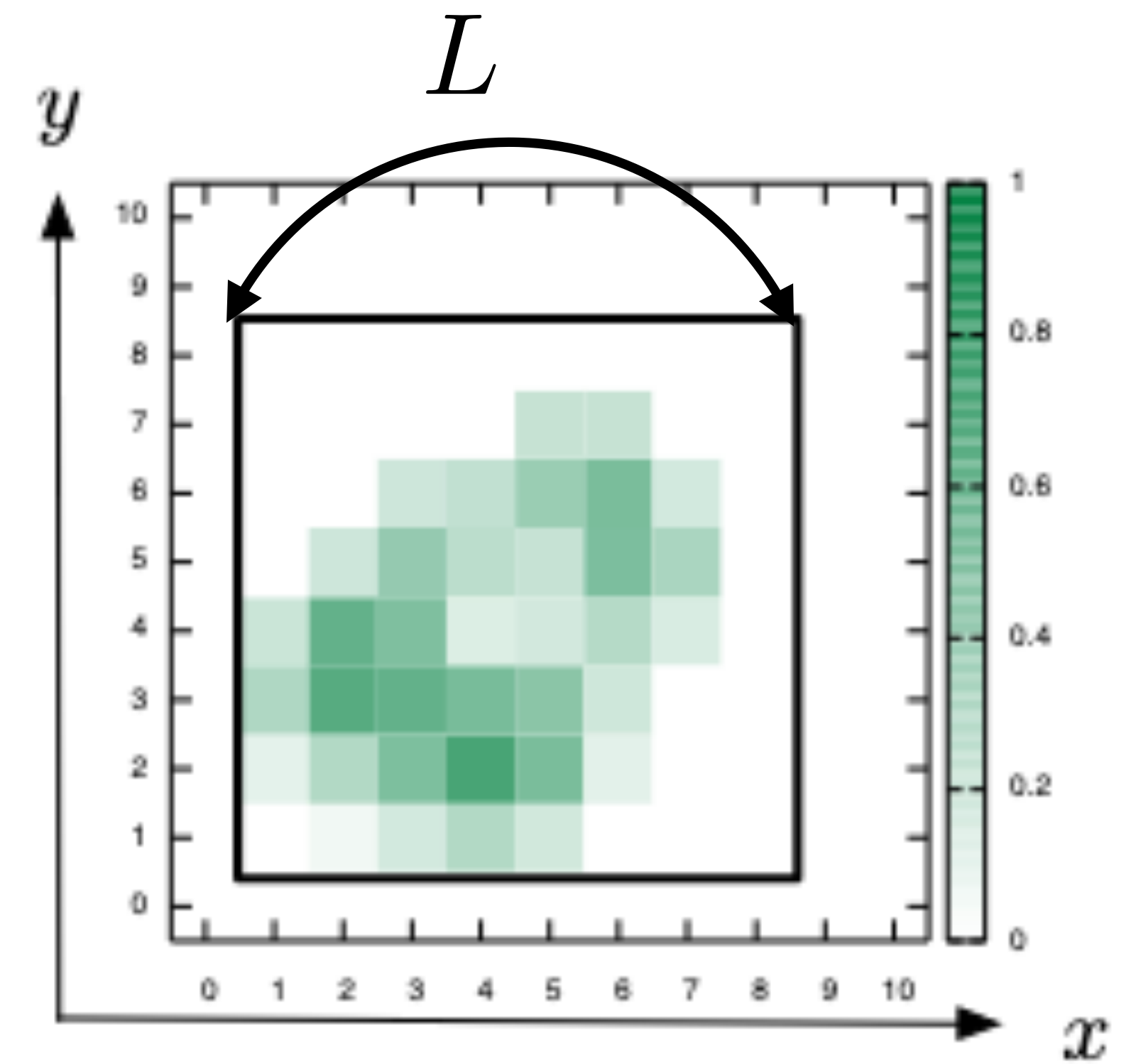
(1) 島内のセルの数が与えられる N_c 問題によるが
 $O(10^5)$ 程度

(2) 島内の各セルの x, y 座標と、時刻 $t=0$ における
燃えていない/燃えている木の密度が与えられる

$n = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1$ $x_n, y_n, T_n(0), F_n(0)$

これらを含む問題のパラメータはヘッダーファイルsc24.hに指定される入力関数SC_inputで設定される。

Sをなるべく大きくする木の切り方 Δ_n ($n = 0, 1, 2, \dots, N_c$)を決定し、出力関数
SC_output(ヘッダーファイルsc24.hで定義) で出力するプログラムを作成して欲しい。



作業する時刻 $t_w = 10$

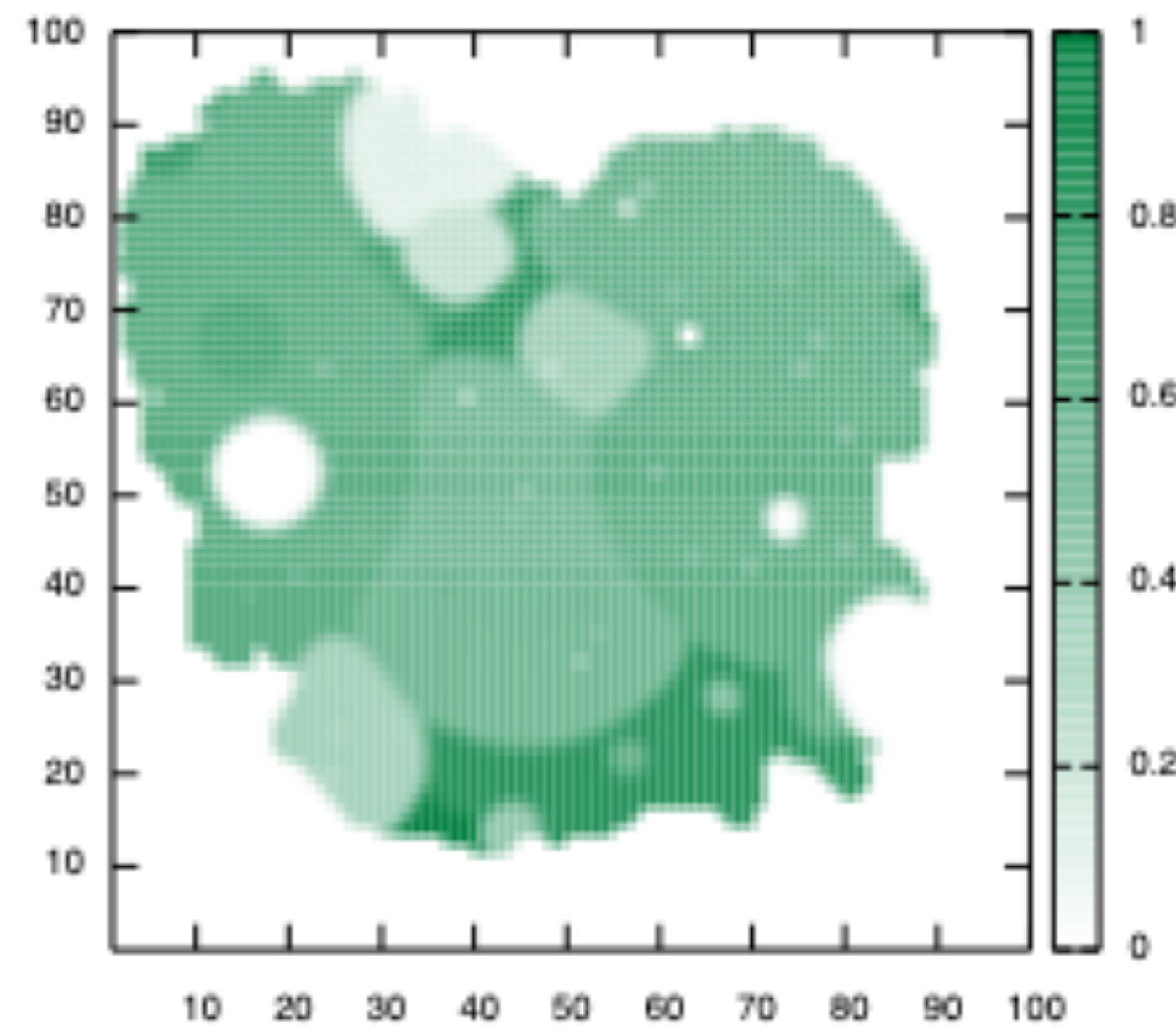
Sを評価する時刻 $t_c = 500$

与えられる森林の初期状態

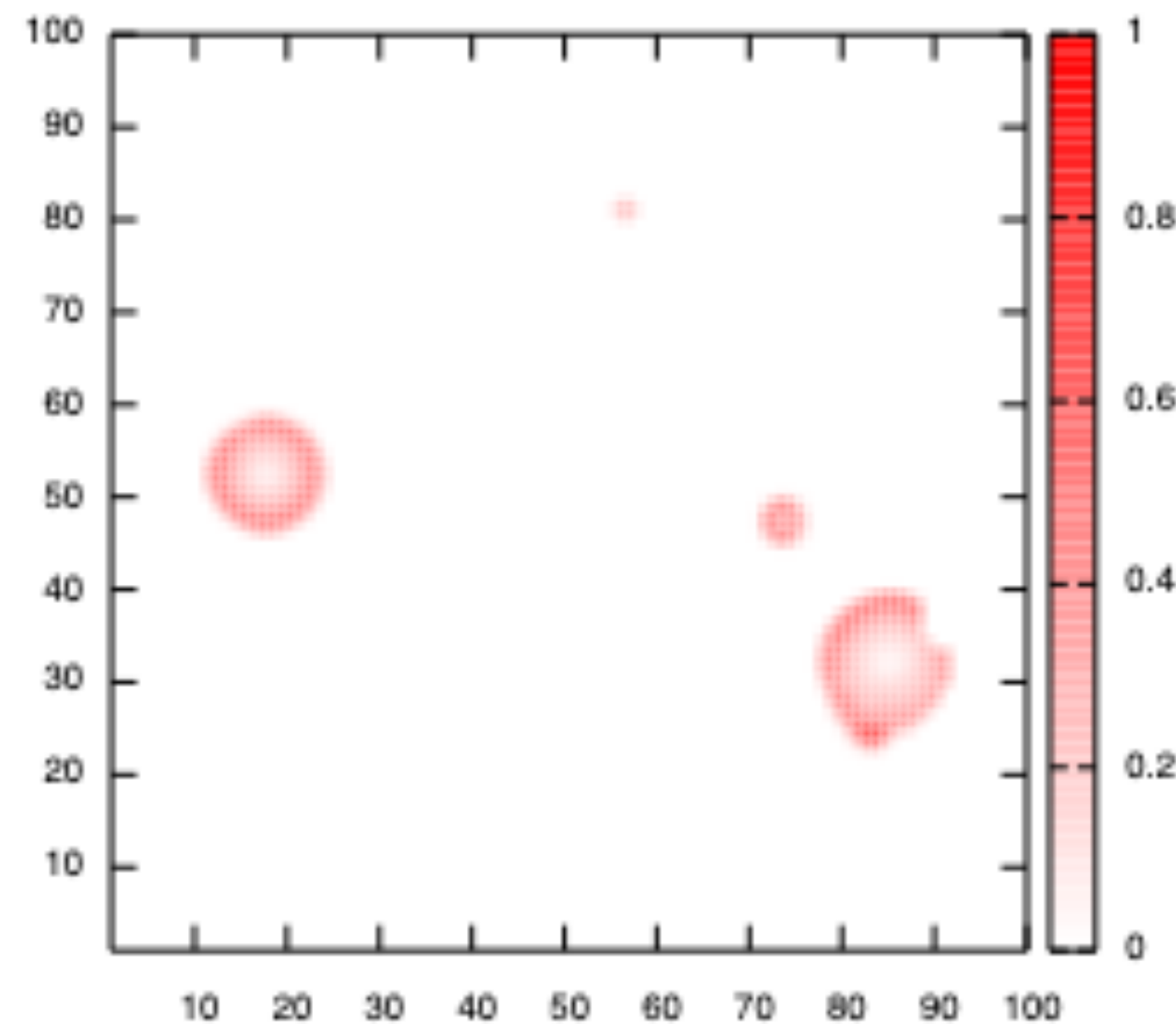
まず一辺の長さ L の正方形領域に収まる島をあるアルゴリズムで生成。

森林の作り方：時間発展として、1. 確率的に起こる落雷 2. 木の成長 3. 確率的に起こる降雨（全島）での消火も加え、長時間の時間発展させた後の状態を使う。（詳細は問題文の付録を参照）

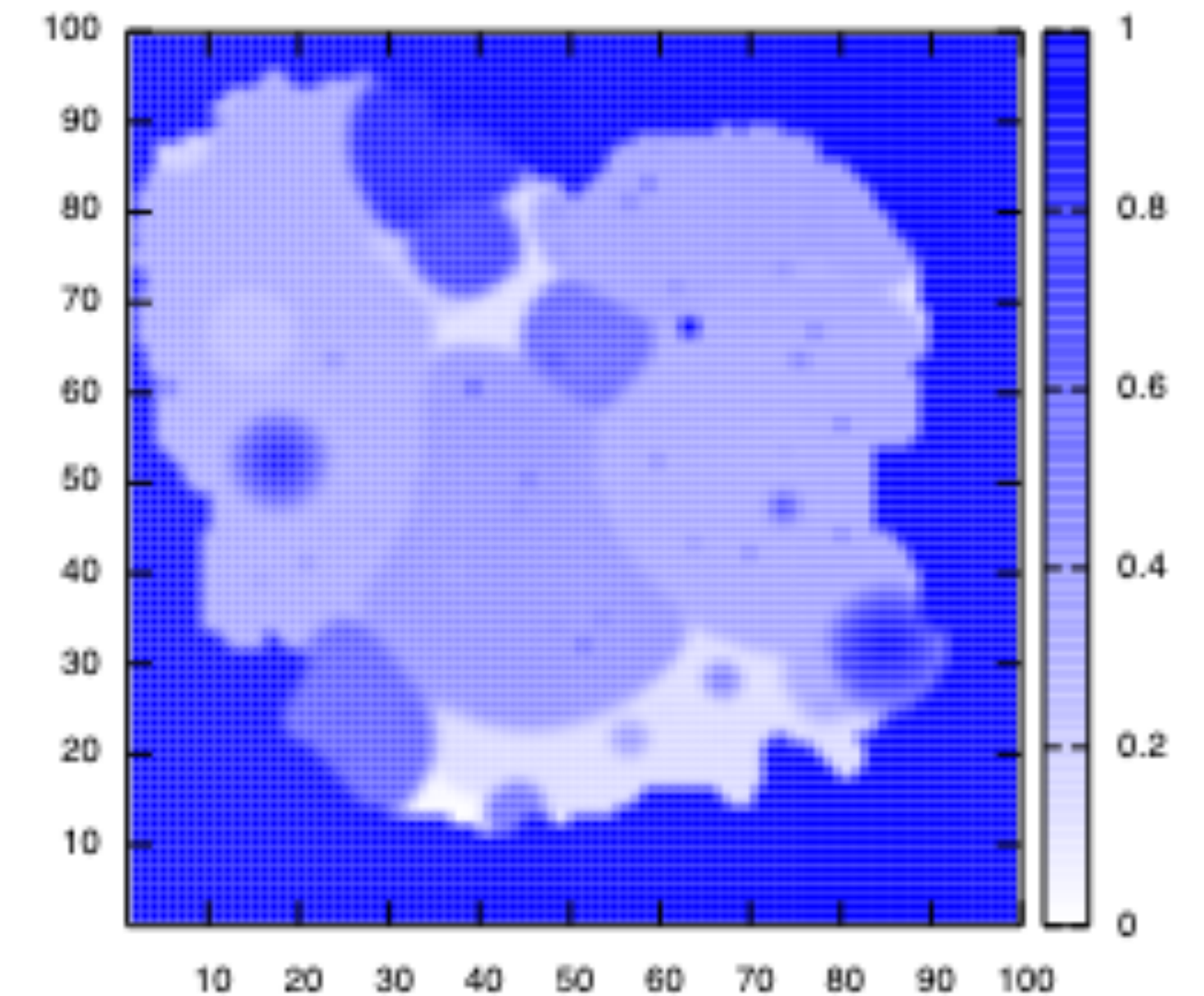
森林形成過程：この例では $L=100$ 、問題では $L=1000$



燃えていない木の密度分布



燃えている木の密度分布



燃えてしまった木の密度分布
(あるいは海)

勝利条件

- 提出されたプログラムで問題を 10 問解く。実行時間の上限は全体で 10 分とする。実行時間内に出力されたそれぞれの問題の最後の結果を審査に採用する。問題には問題番号 $0, 1, 2, \dots, 9$ が割り振られているが、出力の順は問題番号の順にしたがう必要はない。また、10 問全ての解答が提出されていなくても、解答が提出された問題について審査する。
- 各問について、 S が大きいものから順に順位をつけ、1 位 5 点、2 位 4 点、3 位 3 点、4 位 2 点、5 位 1 点、以下 0 点のように点数化する。
- 10 問の点数を合計して総合順位をつける。点数が等しい時には、総計算時間 (ヘッダーファイルに定義された出力関数 `SC_output` で出力される「計算開始からの経過時間」で、制限時間内に出力された最後のもの) が短いチームを上位とする。

提出するもの

(1)プログラムのソースコード： `sc24groupXX.cpp` (XXはチーム名)

(2)コンパイルのスクリプト： `compile-sc24groupXX.sh`

(3)スパコンに投入するジョブスクリプト `sc24groupXX.sh`

を提出する。なお、ソースコードは必ずひとつのファイルにまとめてあること。分割したファイルや `makefile` の使用は認めない。

提出方法の詳細は期間中に説明する。提出練習も行う。

戦略

- ・時間発展部分はベクトル化を効かせる。サンプルプログラムを参考に。
- ・時間発展の仕方を観察する。
- ・最適化に並列化(OpenMP(自動並列化を含む)、MPI)を効かせる：貪欲法、焼きなまし法、交換モンテカルロ、遺伝アルゴリズム、…