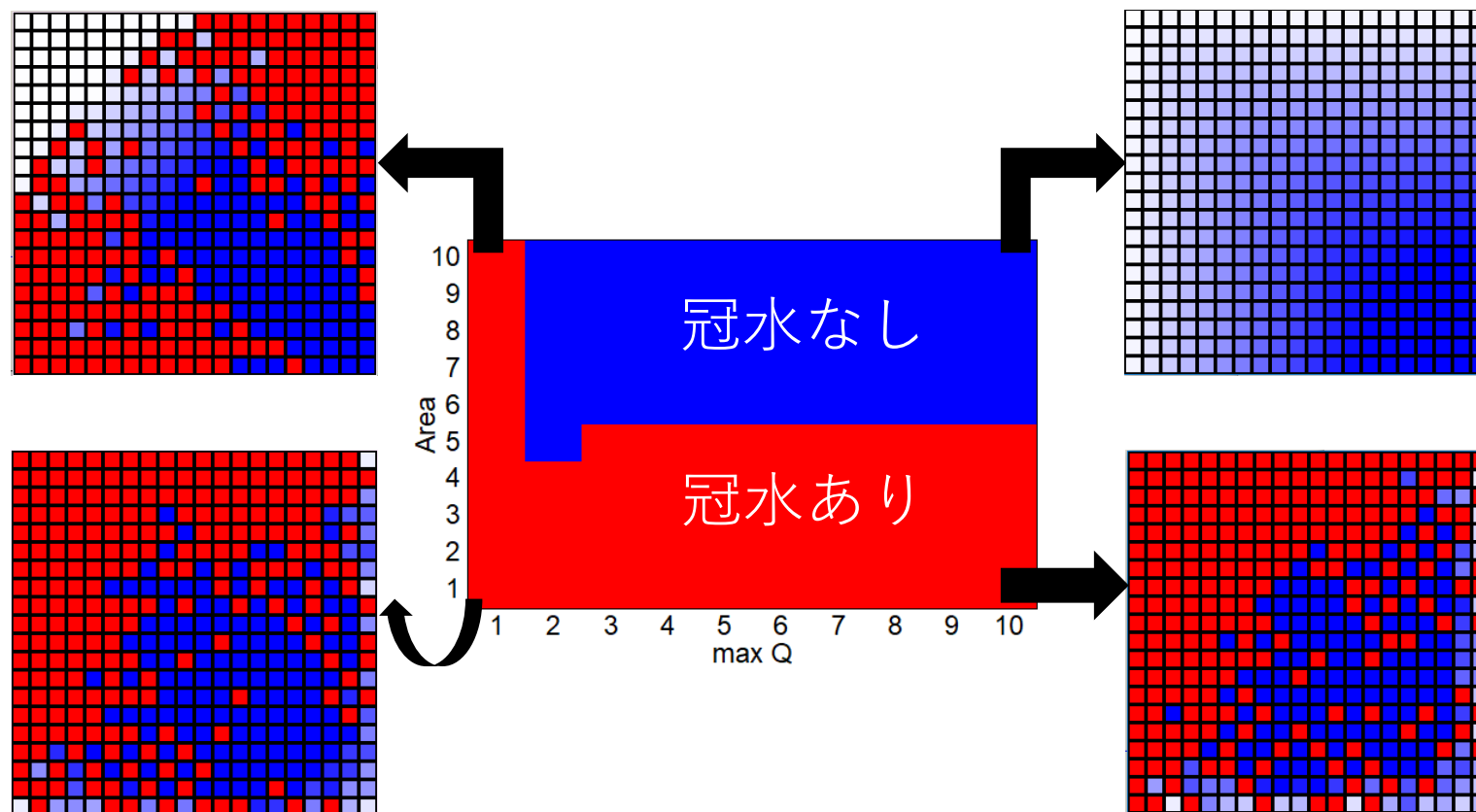
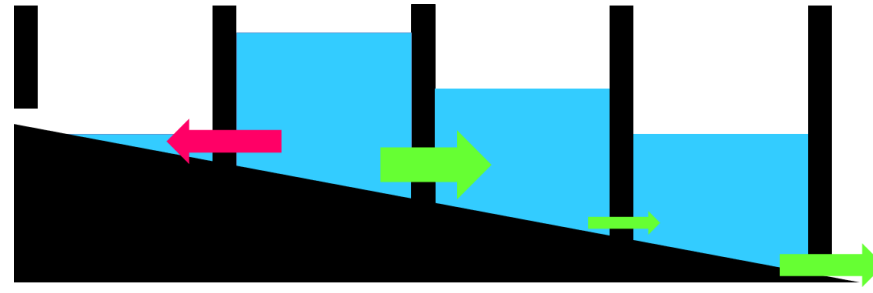


都市の冠水を扱う為に、広域の水の移動を模擬する簡易な新モデルを開発

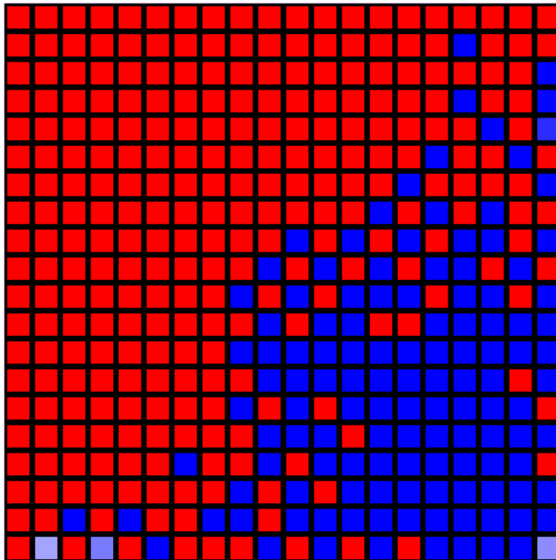
パラメータ変更による冠水の有無、発生位置の変化を観察

赤：冠水位置



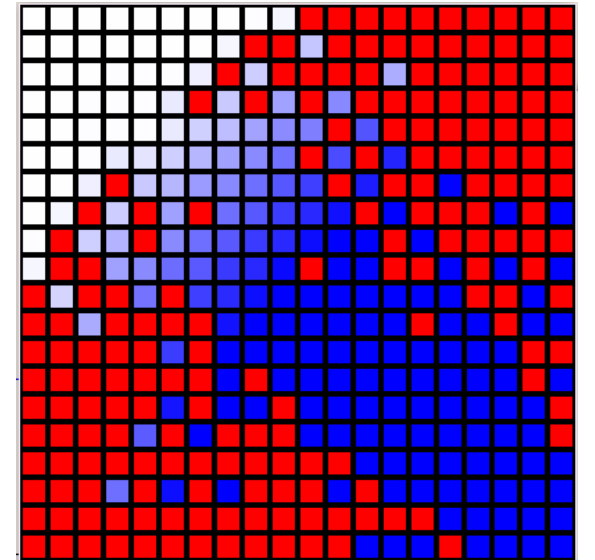


広域冠水シミュレーション モデルの開発



吉村勇志

新領域創成科学研究科人間環境学専攻
複雑環境システムシミュレーション研究室



Introduction

動機

従来



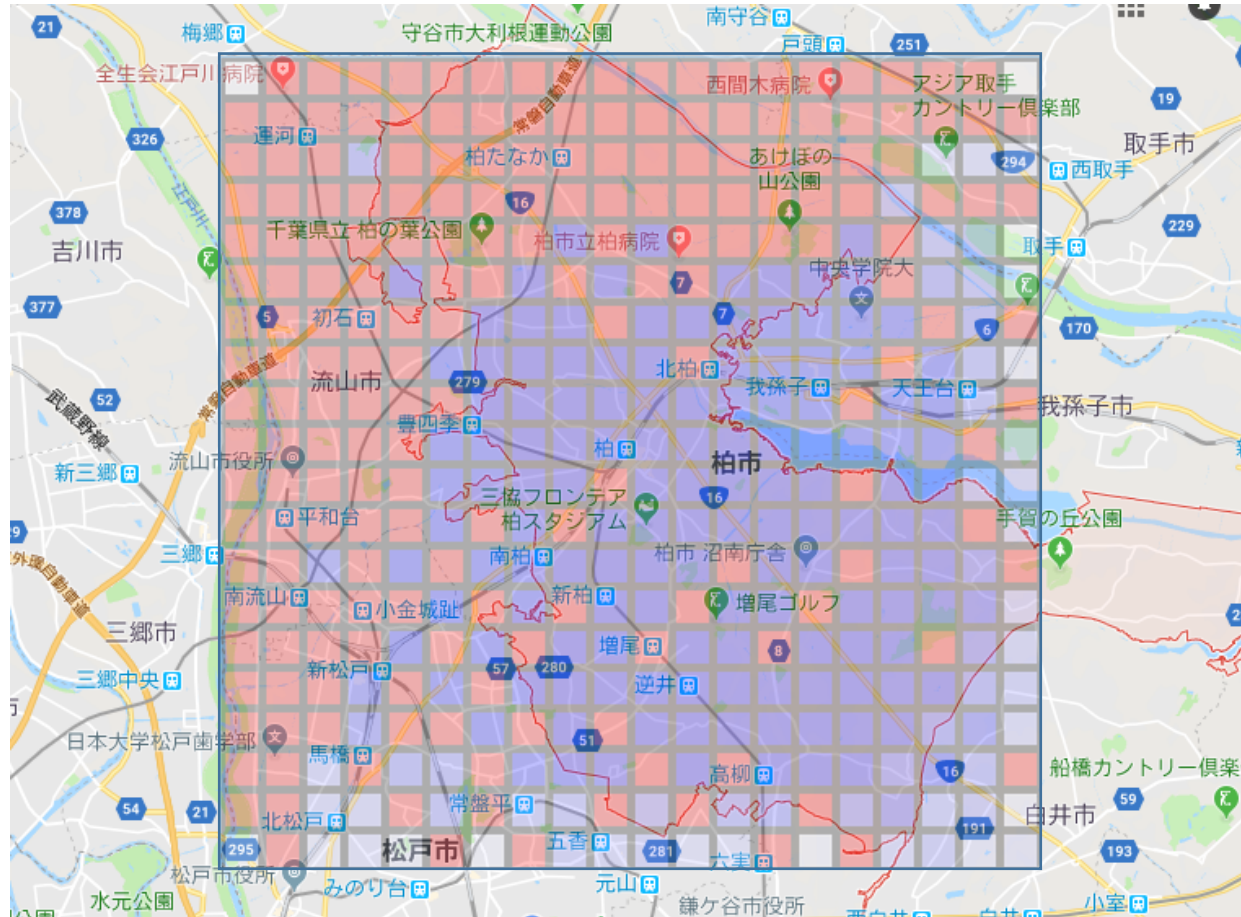
<http://mainichi.jp/graph/2012/07/14/20120714k0000e040138000c/038.html>

本研究



<https://itoyogyo.co.jp/column/2130/>

最終的な目標



Method

現象の抽象化

- **冠水**

- =排水出来てない

- =水が本来流れない方向に流れている

- =**逆流**

- 排水出来ていない=排水能力に限界がある

- 排水能力が高い流路程、普段から水の流量が高い

- 水が本来流れる方向=高い所から低い所

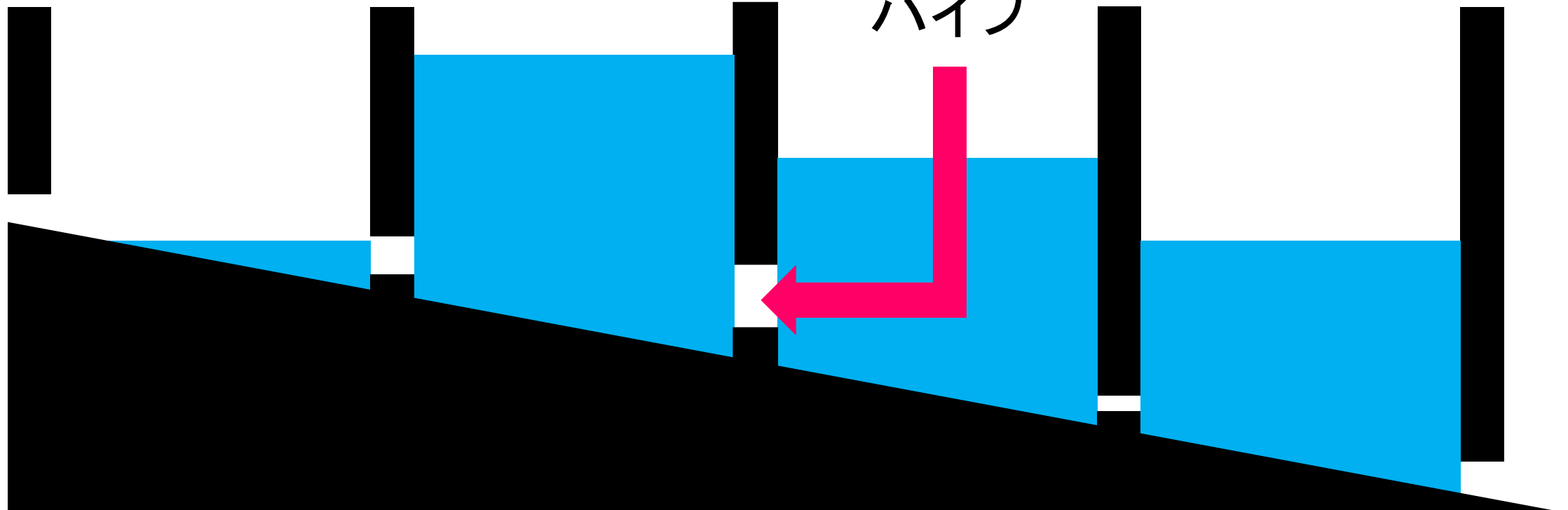
- 高さ=地面の高さ+水の高さ

- 保水能力が高い程水が流出しない=底面積が大きいから高さが低い

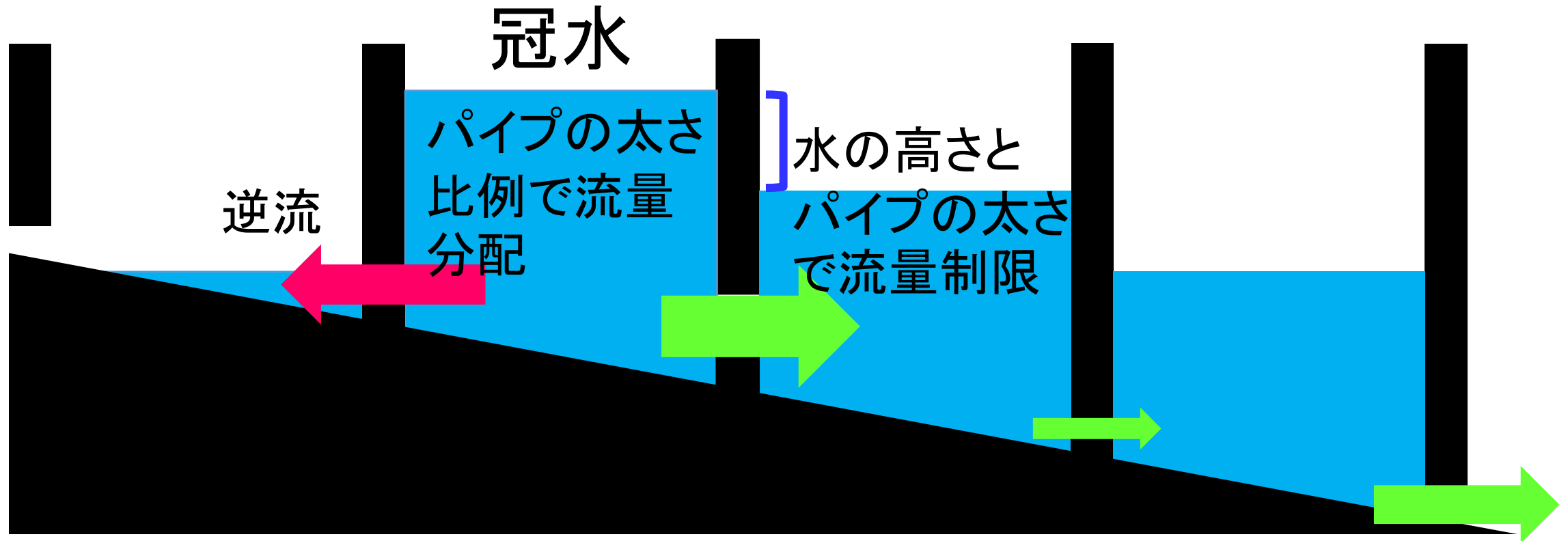
水槽&パイプモデル

水槽

パイプ

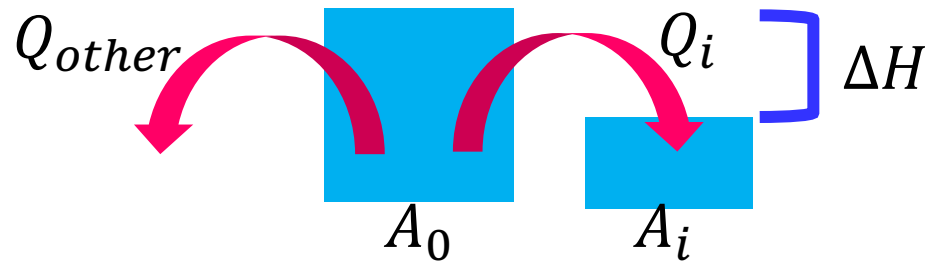


水槽&パイプモデル



流量決定アルゴリズム

1. 隣接セルと高さを比較、当セルからの流出が起こる方向を確定
2. 各方向について、流出によって高さが反転しない最大流量を算出



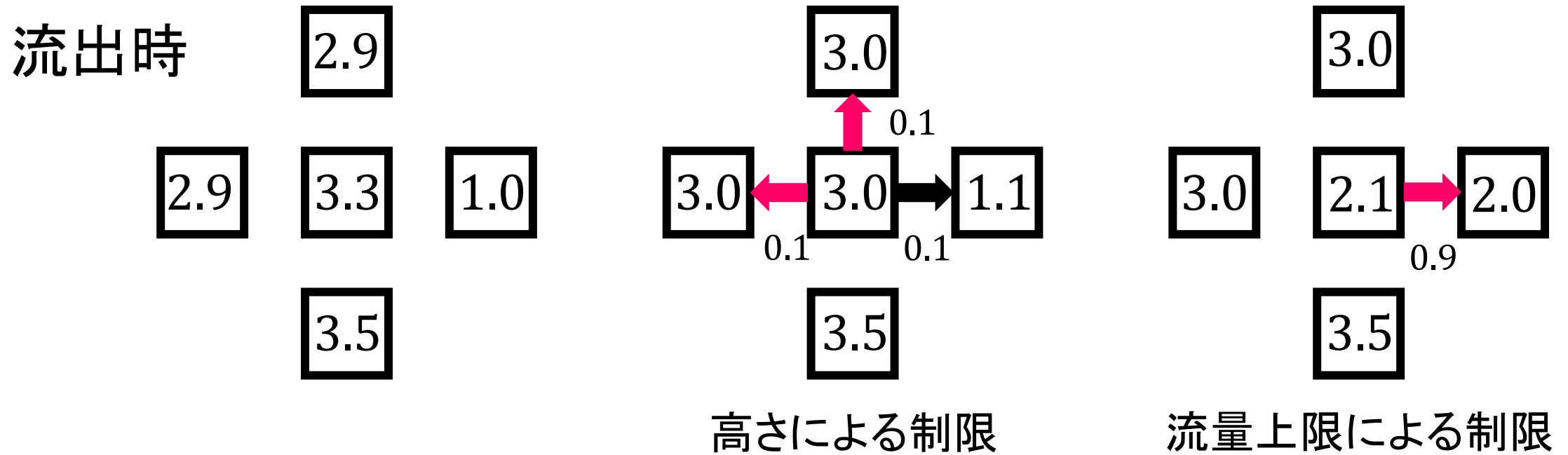
$$\Delta H = \frac{Q_i + Q_{other}}{A_0} + \frac{Q_i}{A_i}$$

3. 各方向について、累計流量が流量上限に達していれば流量制限
4. 累計流量が現在の水量を超えていれば制限
5. こうして得た各方向の流量の最小値を各方向の流量に加算
6. 全方向に流れなくなるまで1-5を繰り返す

シミュレーションの時間発展

1. 各セルに雨を降らし、水量を一定量加算
2. 各セルから隣接セルへの流出量を計算
3. 各セルの水量を流出分だけ減らし、流入分だけ増やす

流量アルゴリズムの解説と問題点

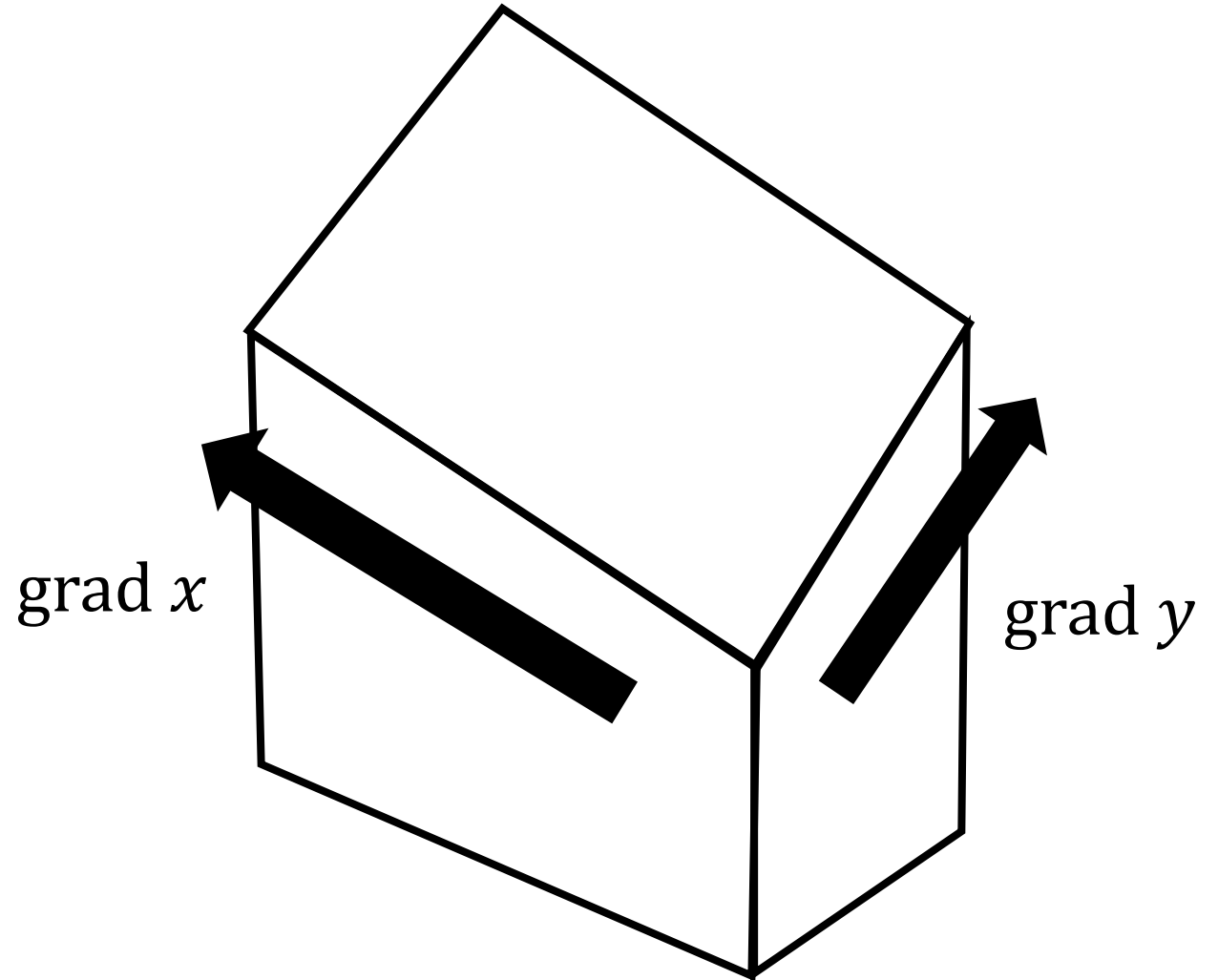


流入に関しても、同様の問題により、同じく水量に空間的な“チラつき”が生じる
出力結果を時間ないし空間平均を取り解決可能と予想されるが、今回はしない

Results and Discussion

パラメータ設定

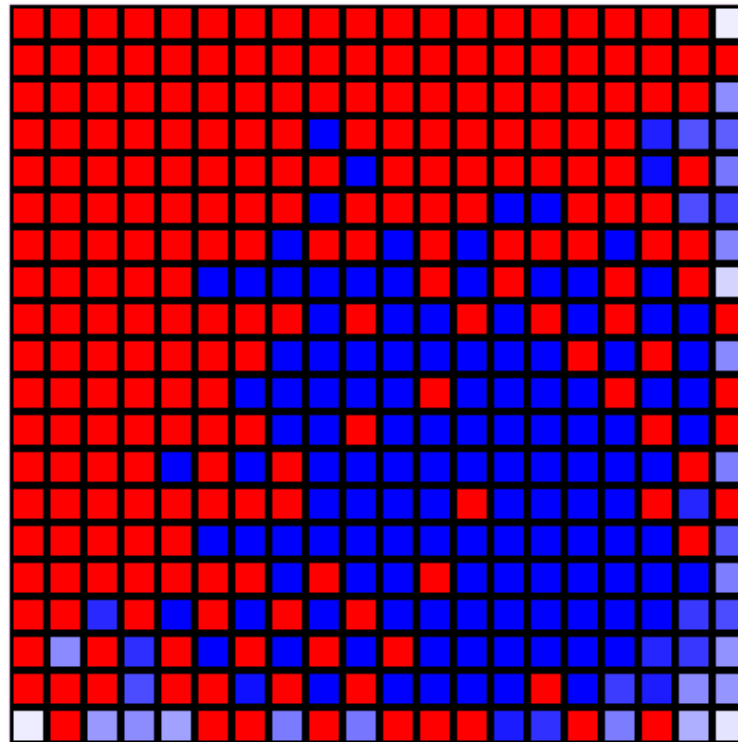
- セル数 20*20
- 流量制限 1
- 面積 1
- 雨量 0.1
- 傾き(東西方向) 1
- 傾き(南北方向) 1



パラメータ設定

- セル数 20*20
- 流量制限 1
- 面積 1
- 雨量 0.1
- 傾き(東西方向) 1
- 傾き(南北方向) 1

高い



青: 逆流していない
セルの水量

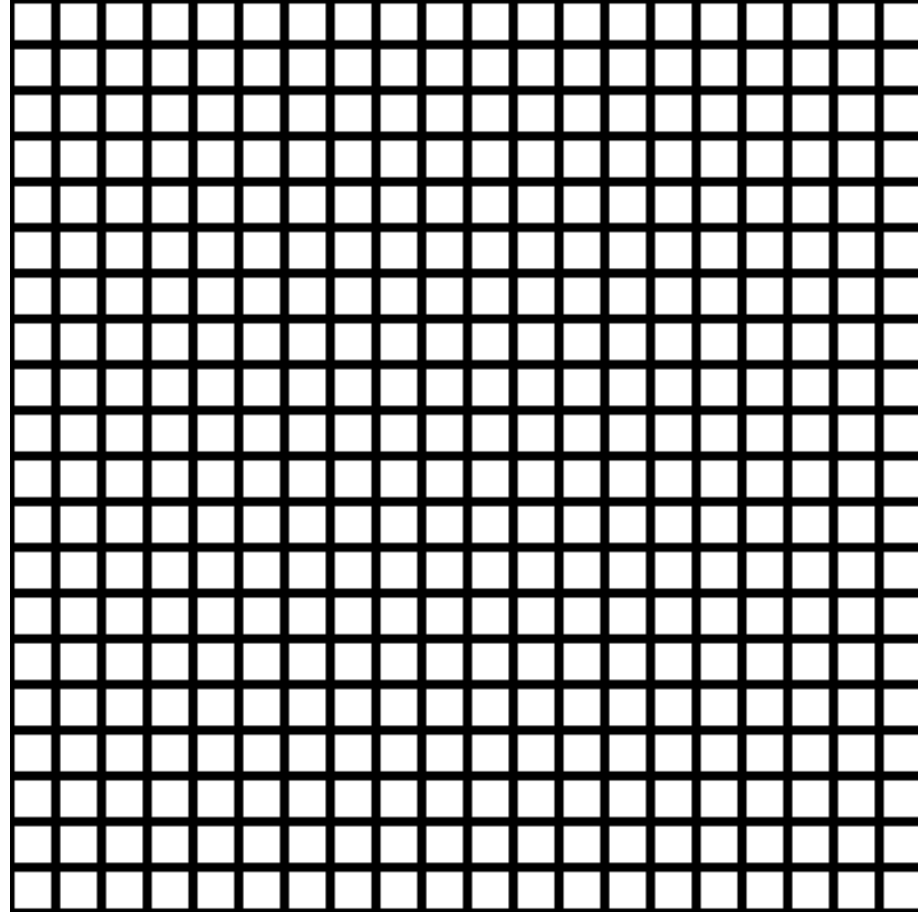
赤: 逆流しているセル

低い

概要

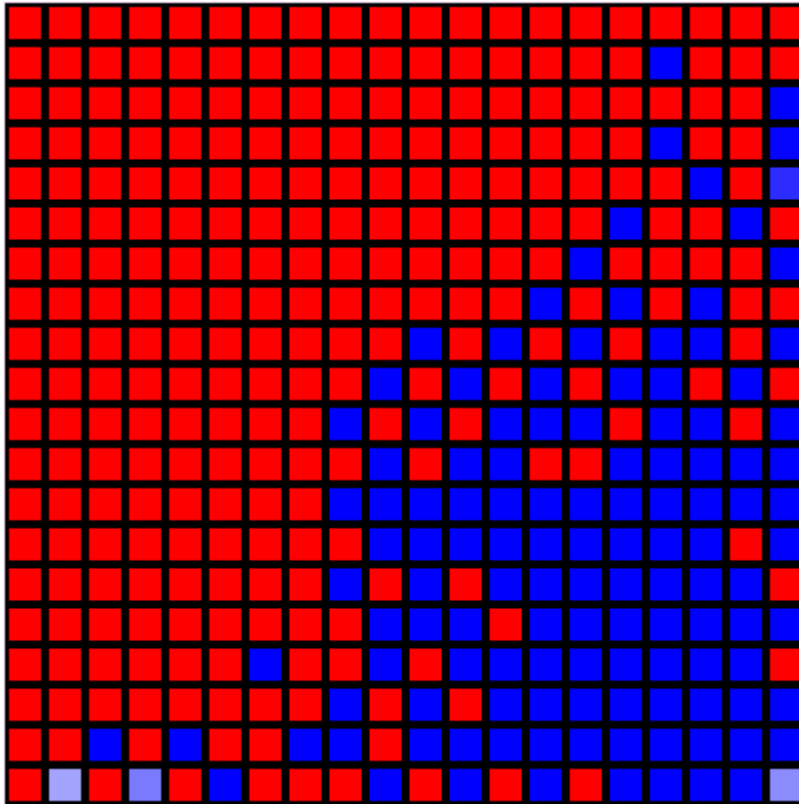
- シミュレーション
- パラメータ変更と考察
- ダム設置テスト

アニメーション

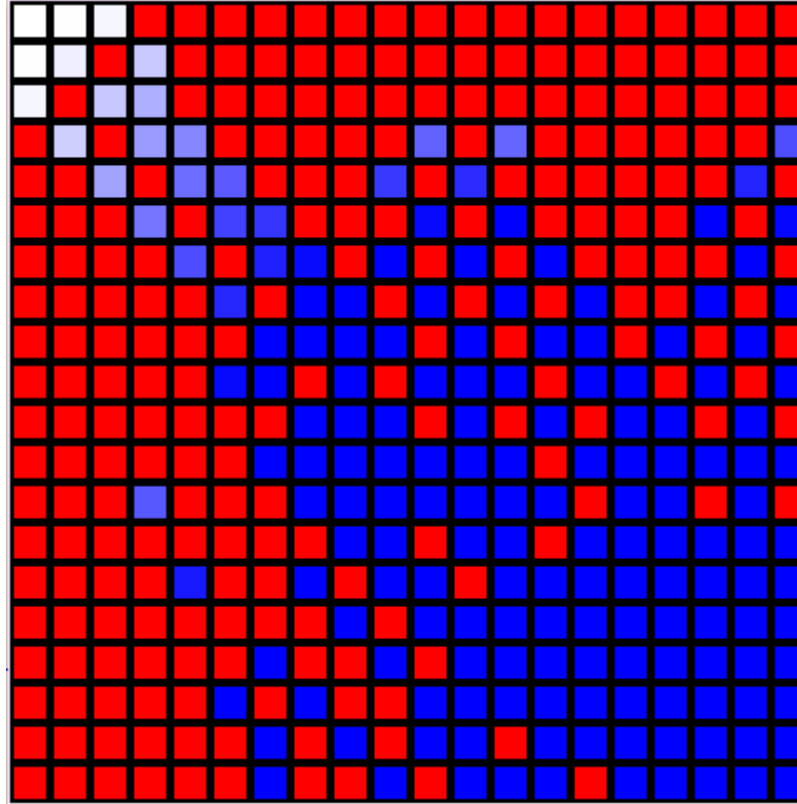


面積の効果

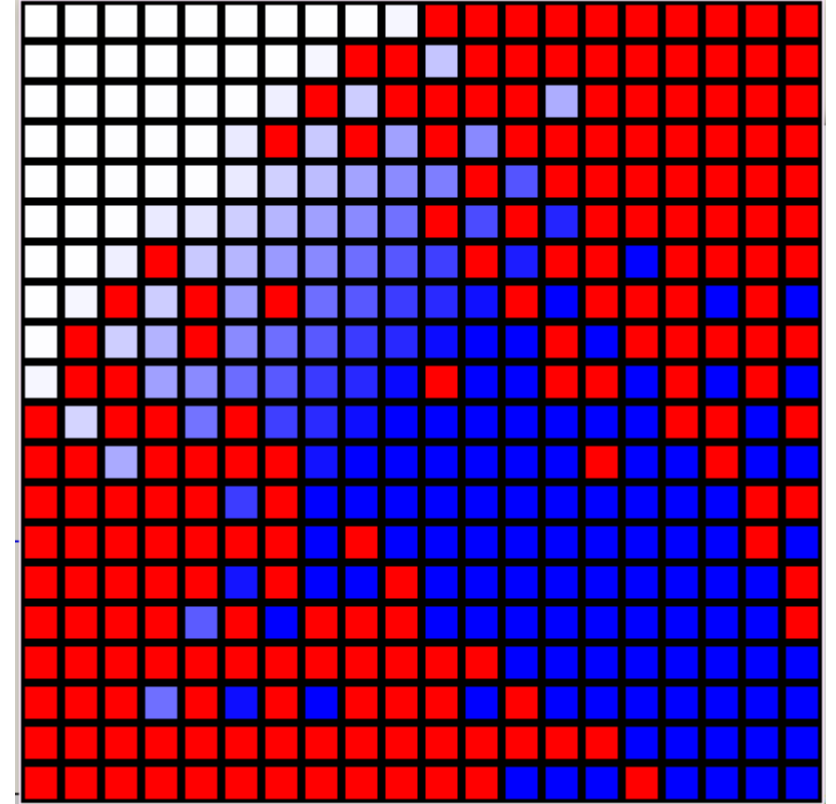
$A = 0.5, t = 3000$



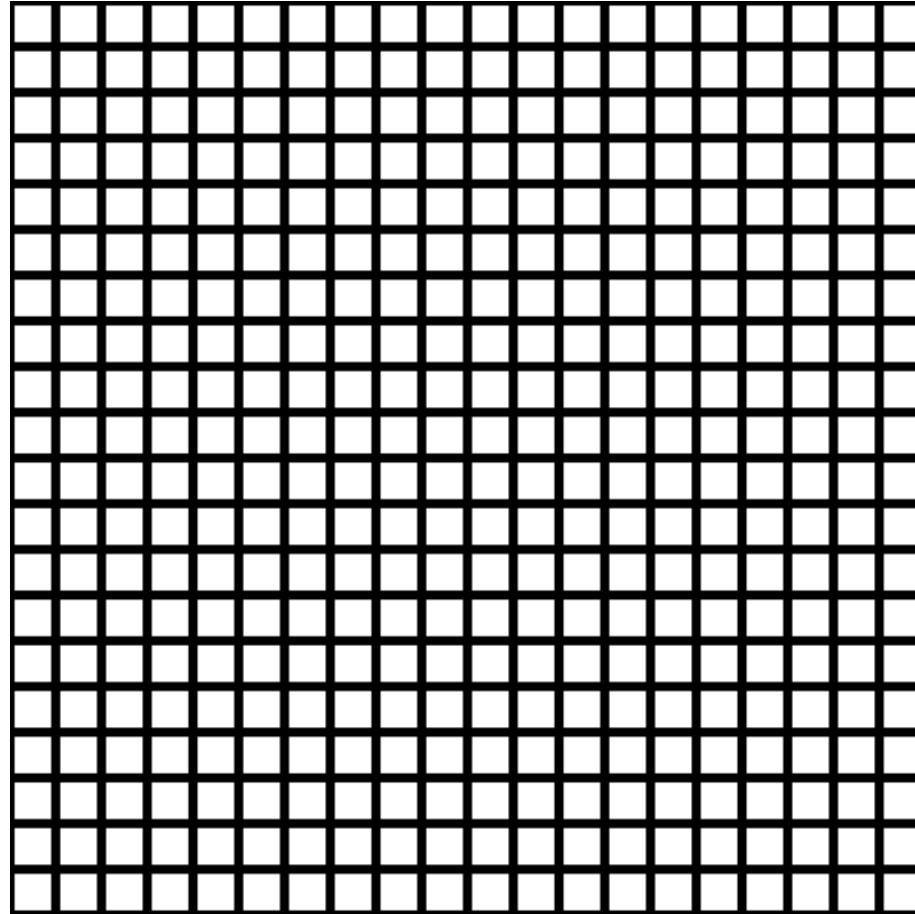
$A = 3, t = 7000$



$A = 10, t = 10000$

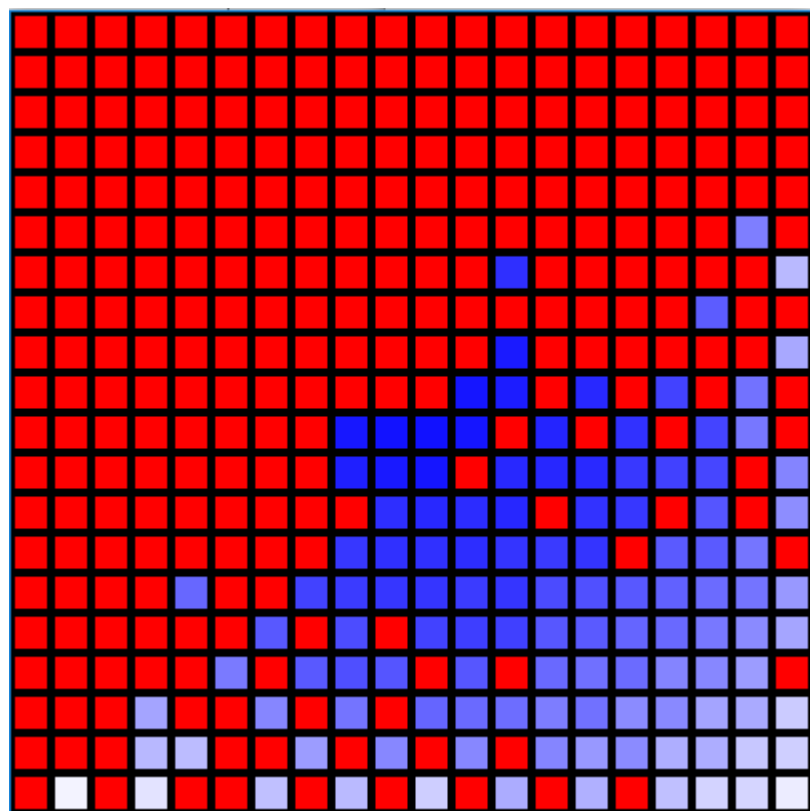


面積効果のアニメーション

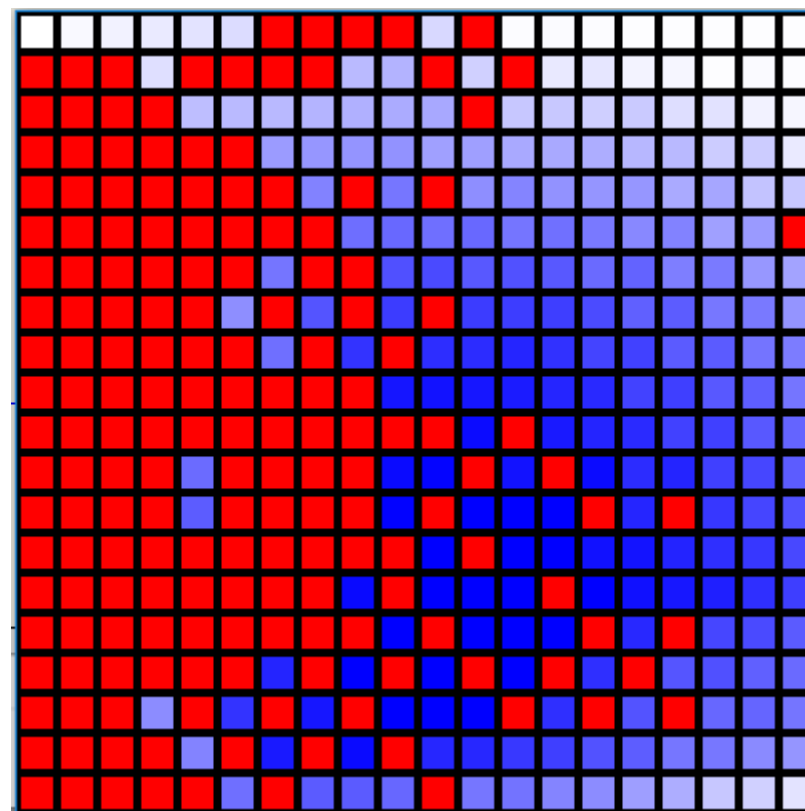


y傾斜の効果

$\text{grad } y = 0.25, t = 5000$

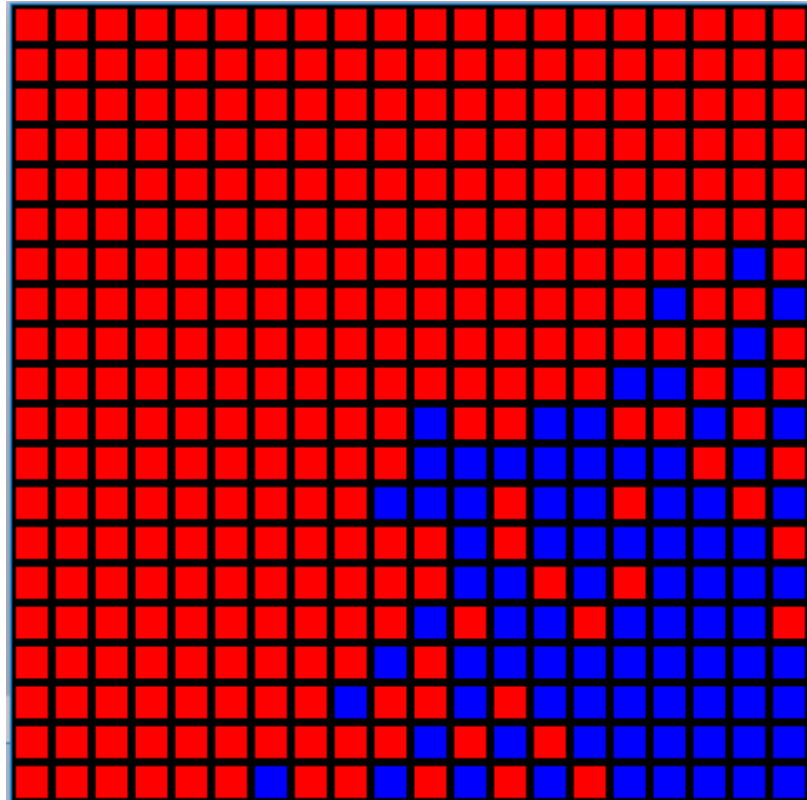


$\text{grad } y = 4, t = 10000$

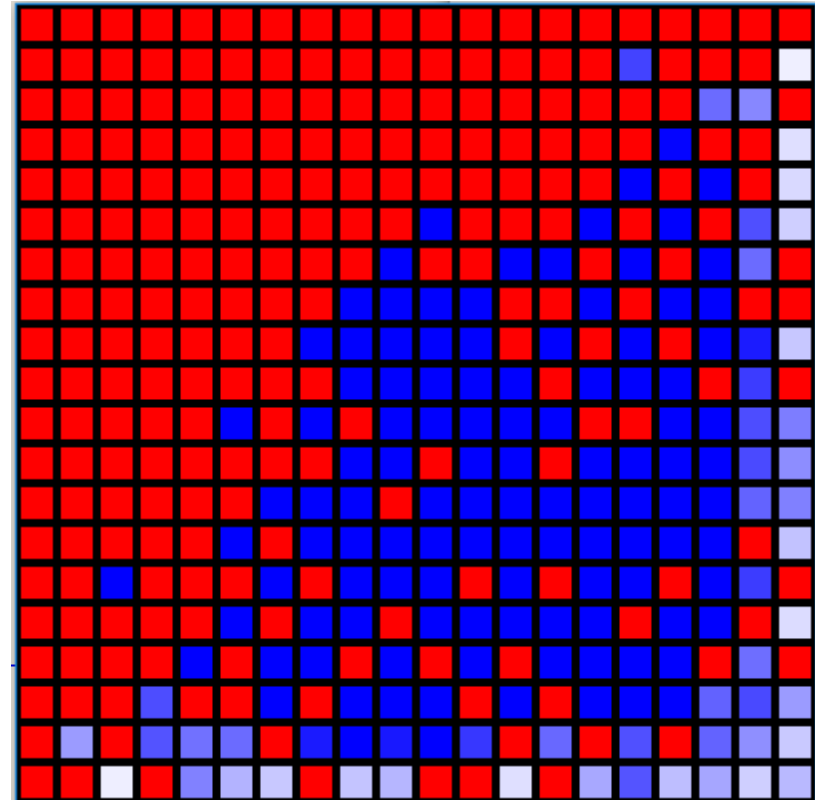


流量制限の効果

$\max Q = 0.5, t = 5000$



$\max Q = 10, t = 5000$



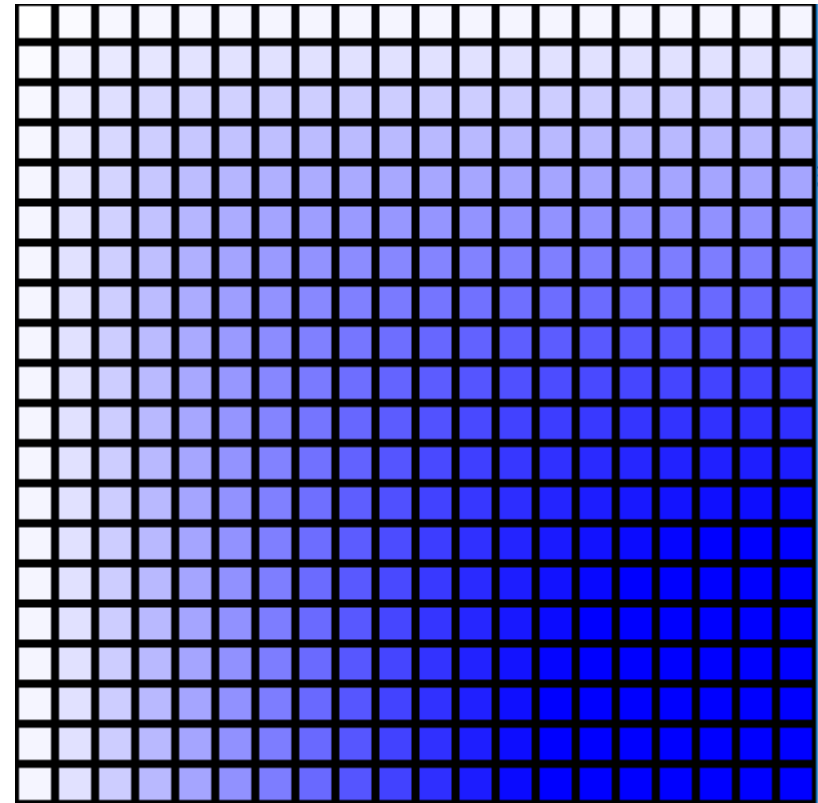
パラメータ変更の効果

- 面積と傾斜については妥当な結果
 - 雨量と領域外流出量の釣り合いから、最終的にどこかで逆流が起こる
 - 面積が小さいと飽和セルが早期に北西に到達、逆流が上流側で起きる
 - 面積が大きいと飽和セルが北西に到達する前に逆流が中流側で起きる
 - 傾斜を小さくすると、面積を小さくするのと同様の効果
 - 傾斜を大きくすると、相対的に起こり易い東西方向に逆流が発生
- 流量制限についてはアルゴリズムの欠陥が露呈？
 - 単純に流量上限を上げても、滑らかに水が排出されない
 - 各セルが流せる方向に自分の持つ全ての水量を吐き出し、不安定

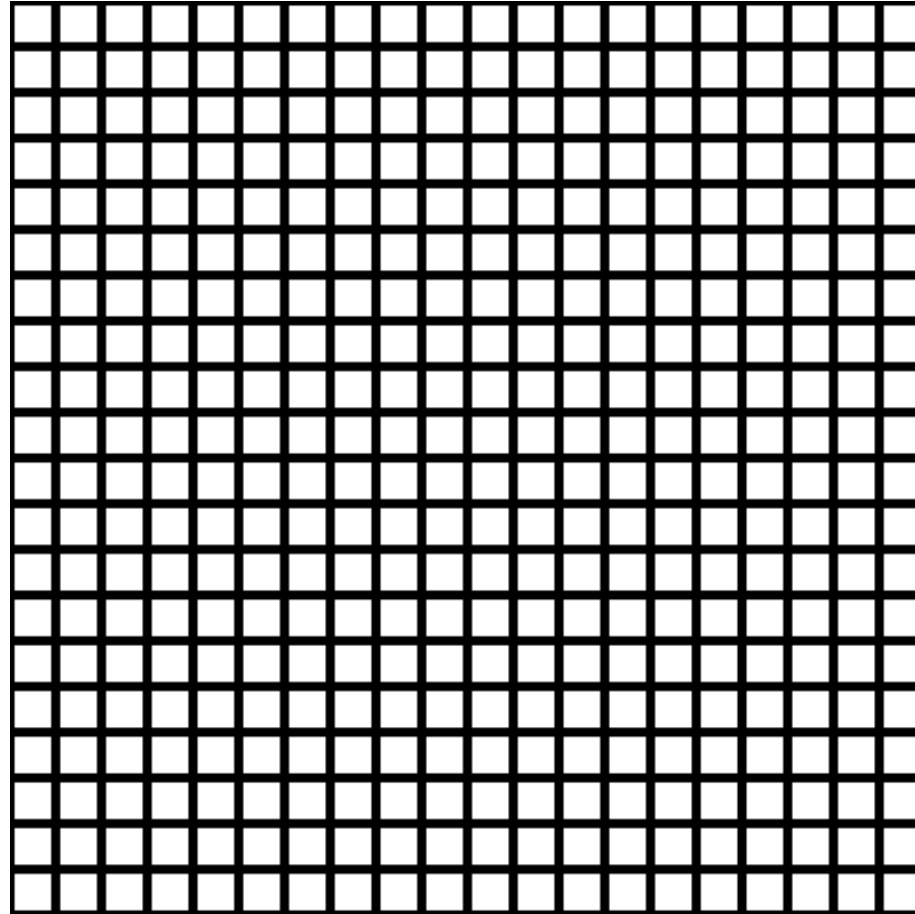
面積と流量上限の効果

- 面積と流量上限の両方を高めたところ、正常な排水に成功
- 逆流防止には面積と流量上限増加の両方が必要

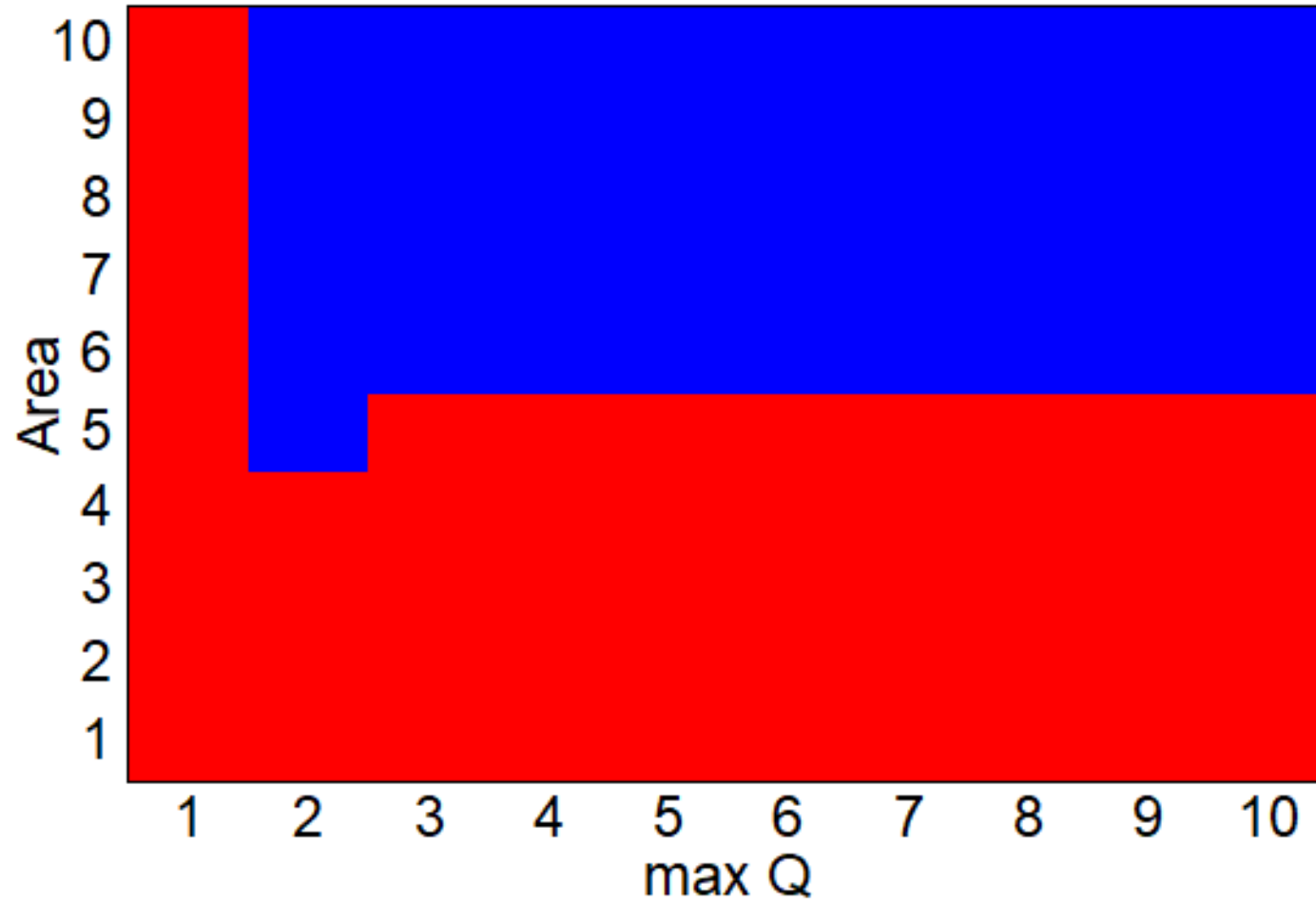
$$A = 10, \max Q = 10, t = 10000$$



面積と流量上限効果のアニメーション

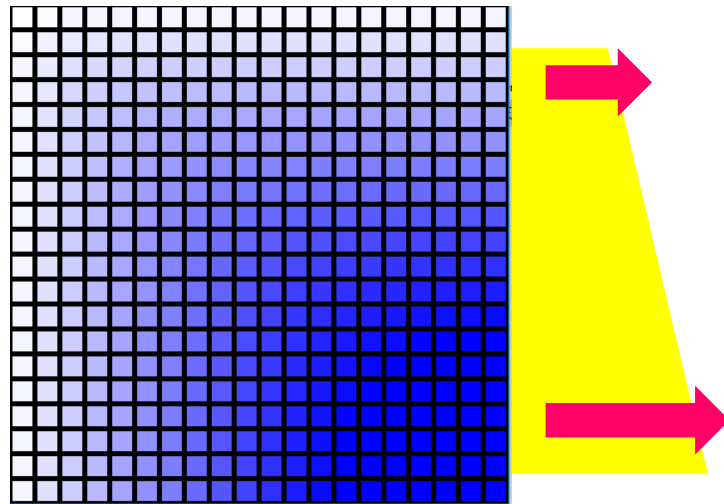


逆流発生条件の調査



逆流発生原因の考察～流量上限

- 当初の予想では、初期パラメータでも逆流発生しない筈だった
 - $(22^2 - 20^2) * 1/2 * 1 = 42 \approx 20^2 * 0.1 = 40$
- 流量上限については東・南セルからの流出量が一律に1流れる必要があったのが問題かもしれない

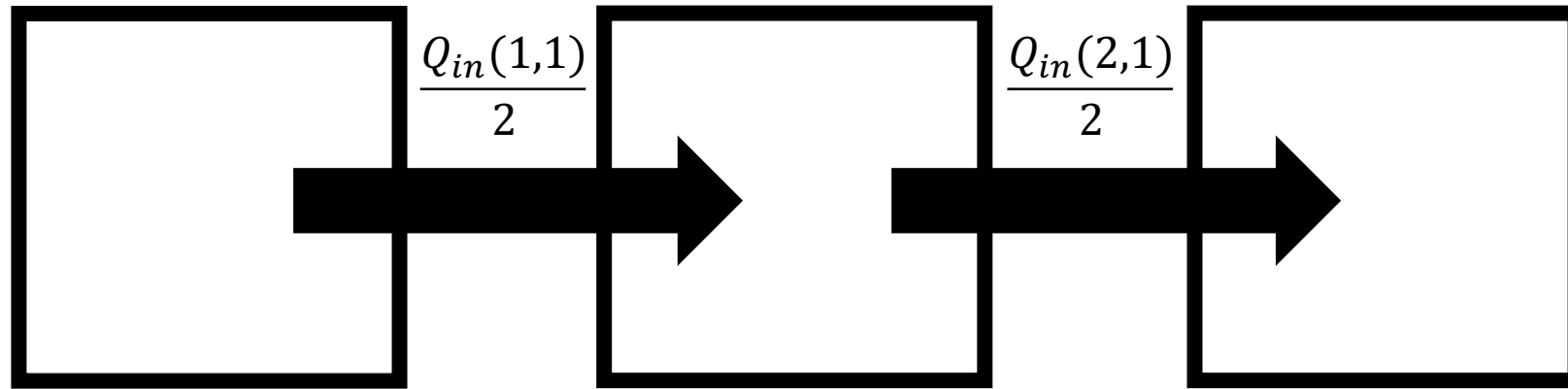


流量上限

- 逆流が安定的に発生しない条件
 - 各セルについて水の流入と流出の量が釣り合っている
 - 各セルは東・南方向に水を流出させている
- ここで、高さによる流量制限を無視すると、各セルは東セルと南セルにそれぞれ $Q_{in}/2$ だけ水を流すと仮定することが出来る

$$Q_{in}(i, j) = a + \frac{1}{2} Q_{in}(i - 1, j) + \frac{1}{2} Q_{in}(i, j - 1)$$

北東・南西セルの解析解



$$\begin{aligned} Q_{in}(\infty, 1) \\ &= 2a (= 0.2) \\ &< 1 \end{aligned}$$

$$Q_{in}(1,1) = a$$

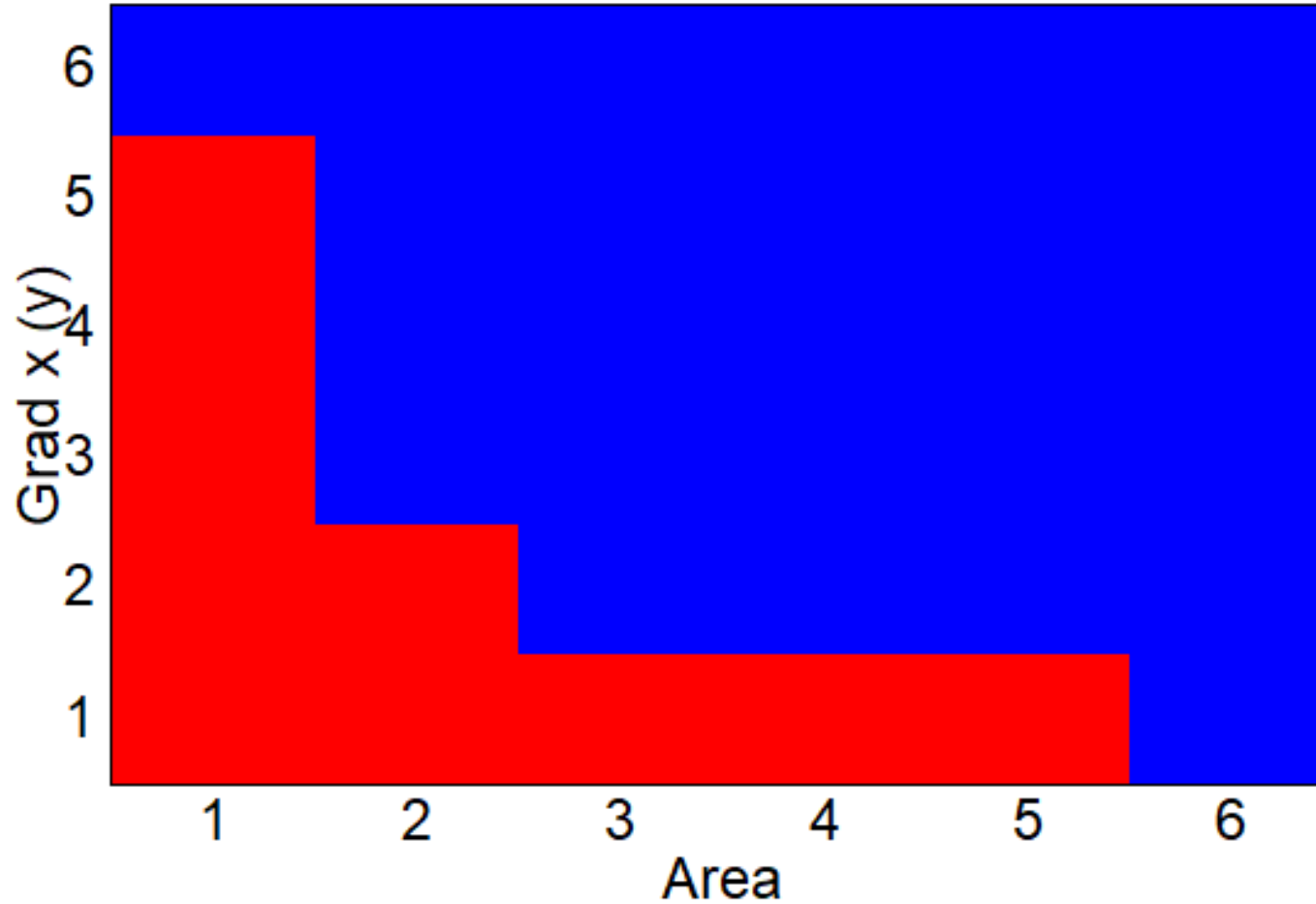
$$\begin{aligned} Q_{in}(2,1) \\ &= a + \frac{1}{2} Q_{in}(1,1) \\ &= \left(1 + \frac{1}{2}\right) a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{in}(3,1) \\ &= a + \frac{1}{2} Q_{in}(2,1) \\ &= \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4}\right) a \end{aligned}$$

逆流発生条件の考察～面積

- 面積条件に関しては妥当な仮定が複数ある
- 物理的解釈
 - 排水能力だけあっても保水能力がなければ冠水が起こる
- 計算的解釈
 - 面積が小さく僅かな水量の揺らぎで逆流するパラメータでの計算不安定性
 - 流体計算における $\Delta t \gg \Delta x$ の状態になっているのではないか
- もし後者が正しいのなら、傾斜の変更でも同様の効果が得られる筈
 - 前項のAreaの条件を $\text{Area} \cdot \text{grad}$ に出来ると予想される
 - その場合でも、物理的解釈が出来ない訳ではないが

面積と傾斜の効果



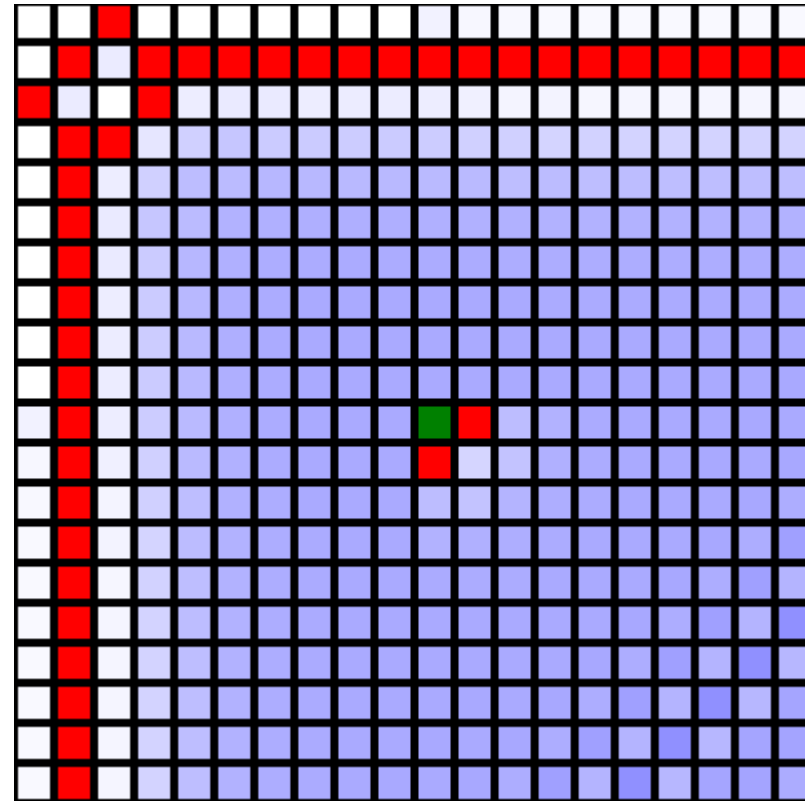
ダムの設置

- 多くの水が流入し、貯めることが出来る場所をダムとする
 - そのセルの面積、北及び西方向の流量上限の値を高める
 - 南及び東方向の流量上限を下げる
 - 流量制限のアルゴリズムには問題があったが、ダム北西の値のみを上げる場合にはダムが北西のセルの水を殆ど受け入れるだけという望んだ挙動を示すと予想される
- ダムの設置により逆流発生時期、位置の変化を見る
 - シミュレーションではダム設置しても十分な時間が経過すれば逆流が起きる
 - 雨を途中で止めるという手もあるが、まずは単純な計算実験から

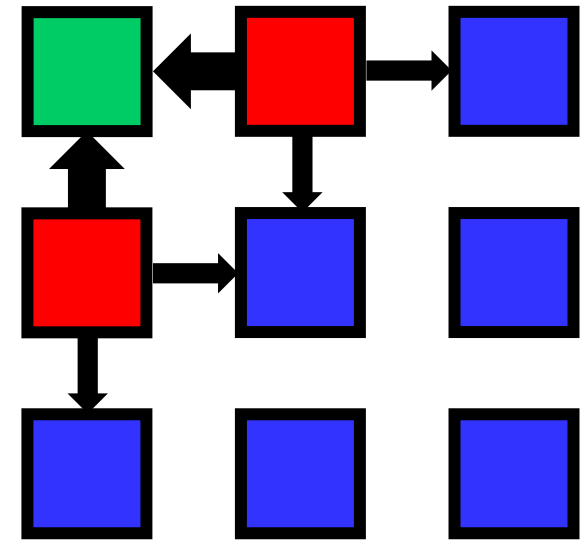
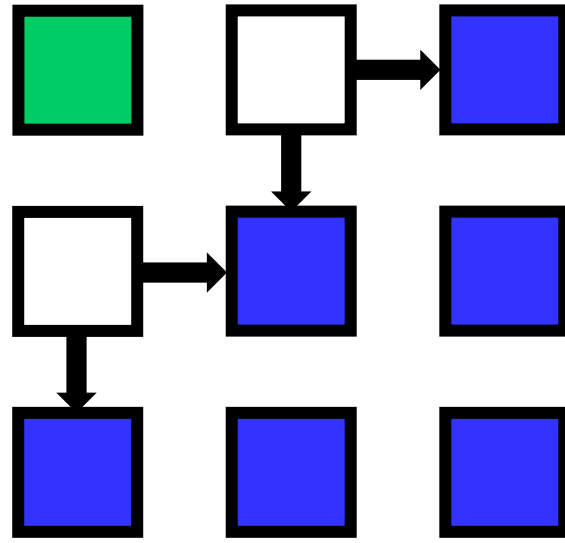
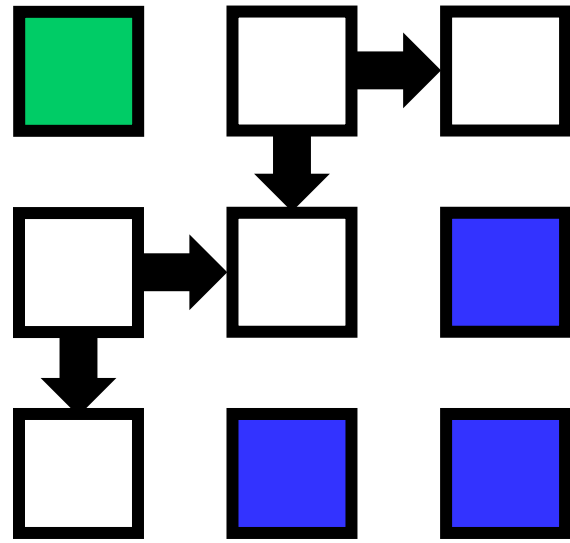
ダム設置テスト①

- 流量制限は変更しない
- 面積を10000に上げる
- ダム直下で早期に逆流発生
 - 自然な現象ではない

$t = 17$



ダム直下逆流の原因



飽和したセルが迫るにつれ
東南方向への流量が減る

ダムは面積が大きく水の高度が低いままなので逆流する

Conclusion

Conclusion

- 広域の水移動を簡易に模擬するシミュレーションモデルを開発
- 水を多量に持つセルの拡大速度に依存し逆流発生位置が変化
- 逆流の防止には保水力と輸送力の両方が必要であると判明
 - 但し、計算アルゴリズムに不安定性がある為、これが不安定性ではなく物理法則から生じているかの検証が必要
- ダムの設置は設置場所の保水力を高めるだけでは模擬出来ない
 - ダム直下が逆流するという非現実的な挙動
- 広域に適用可能な簡易なモデルを発展させるにも、ベンチマークとしてNavier-Stokes方程式の結果との比較が必要