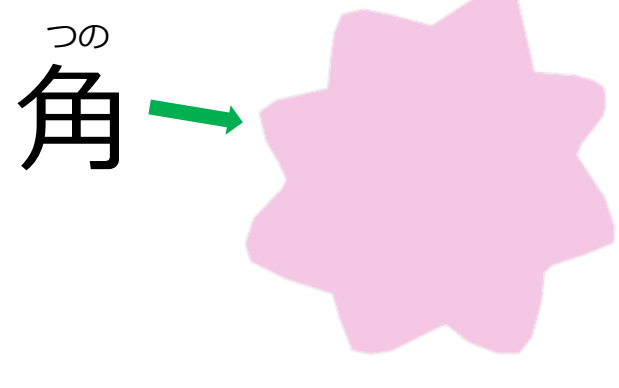


金平糖の生成過程について

加古川東高等学校理数科2年5班

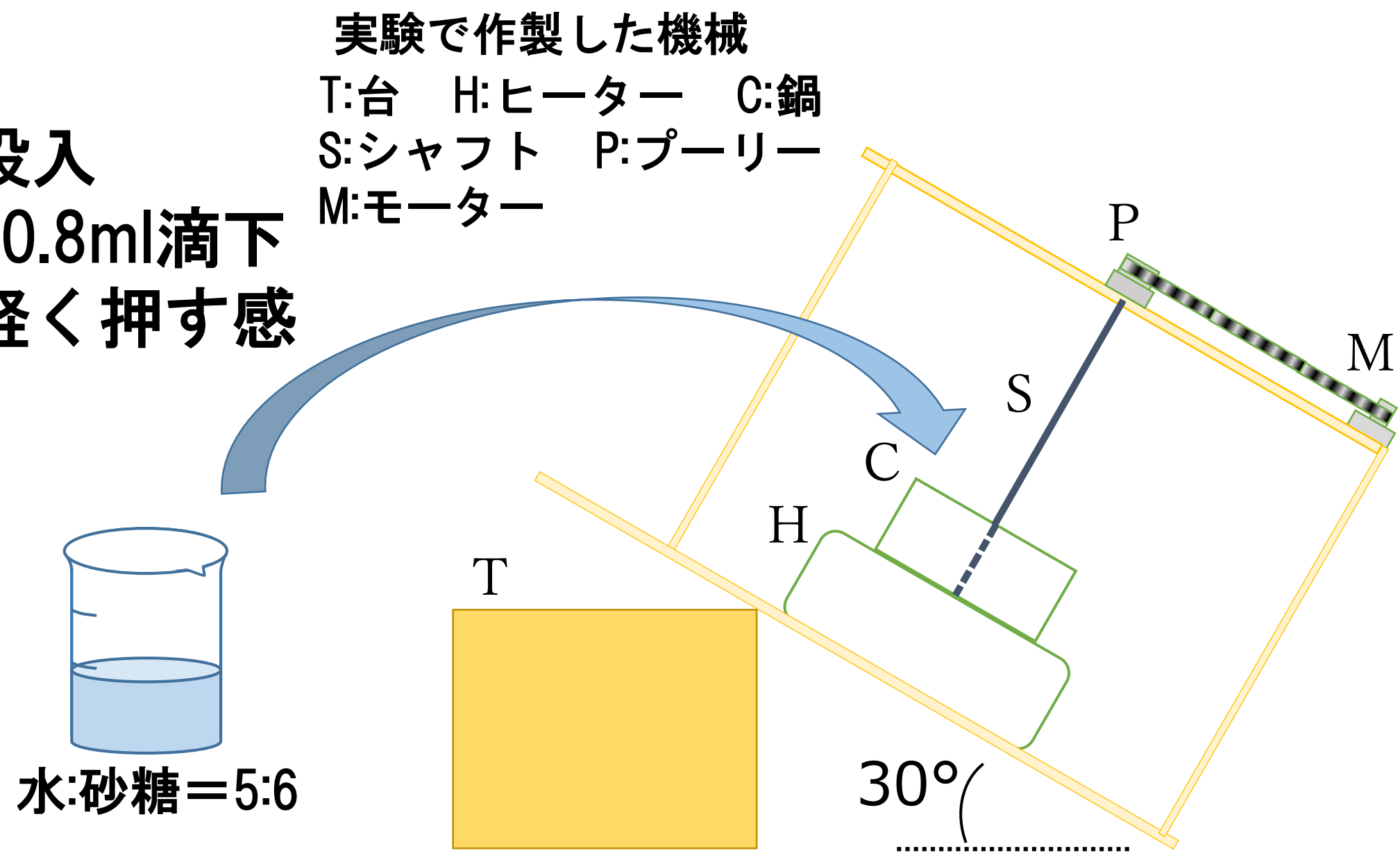
はじめに

金平糖は球状の表面に角が林立するという特殊な形状を持つ。その角の生成理由は明らかにされていない。我々は理科学的な理論を用いた説明を目指す。



実験1

1. 鍋の中にざらめを投入
2. 砂糖溶液を4分毎に0.8ml滴下
3. 自然に転がるまで軽く押す感じで攪拌



実験2

実験1とは別の物質を用いて同様の方法で結晶生成を試みた。

1. ラクトース；糖類の一種。スクロースと似た分子構造をもつ

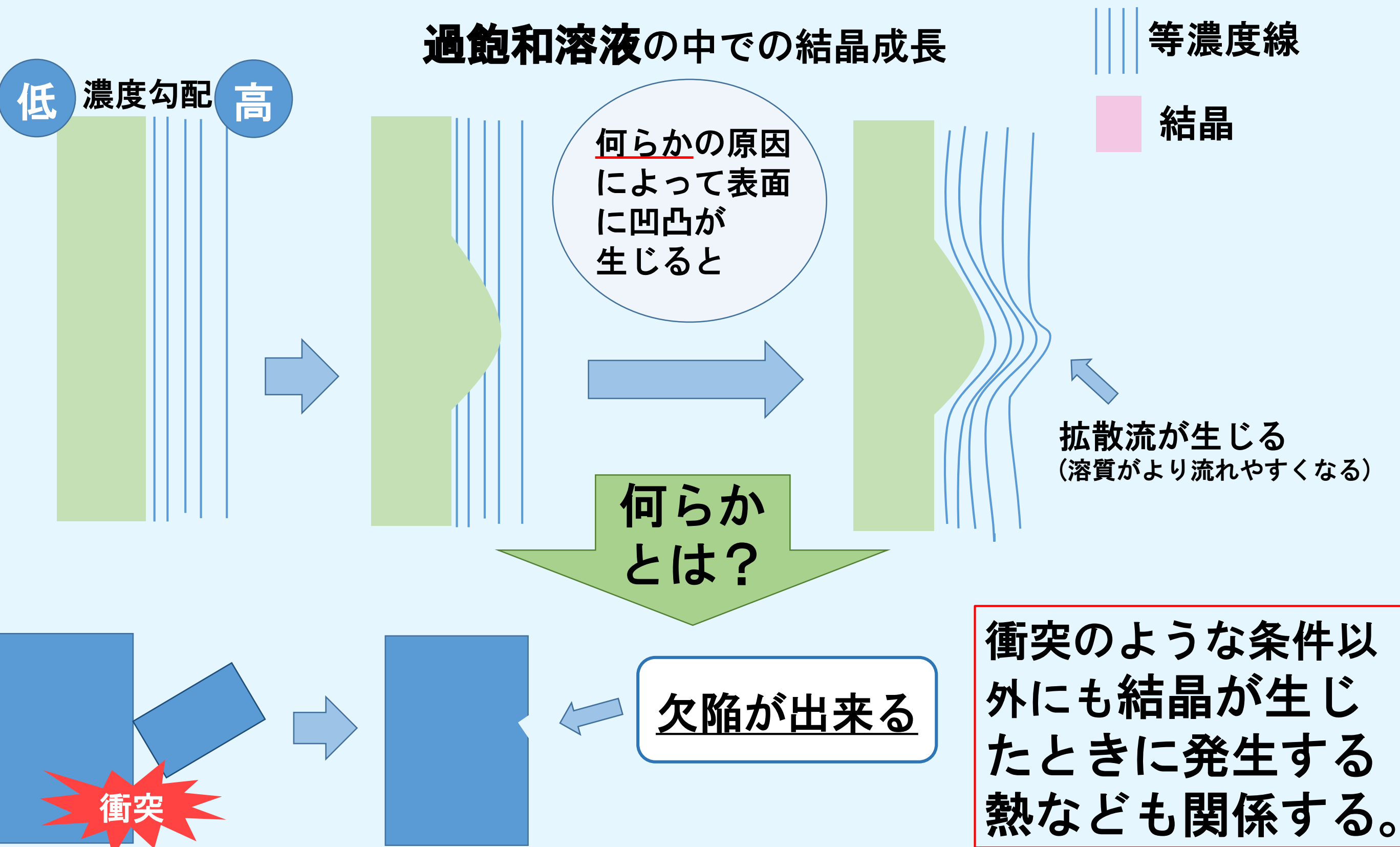
結果 上手く析出しない ← 水に溶けにくく、溶液当たりの物質の量が小さい
結晶析出のために溶解度は重要な要素なのでは？

2. 硝酸カリウム；高温状態の溶解度が大きい。

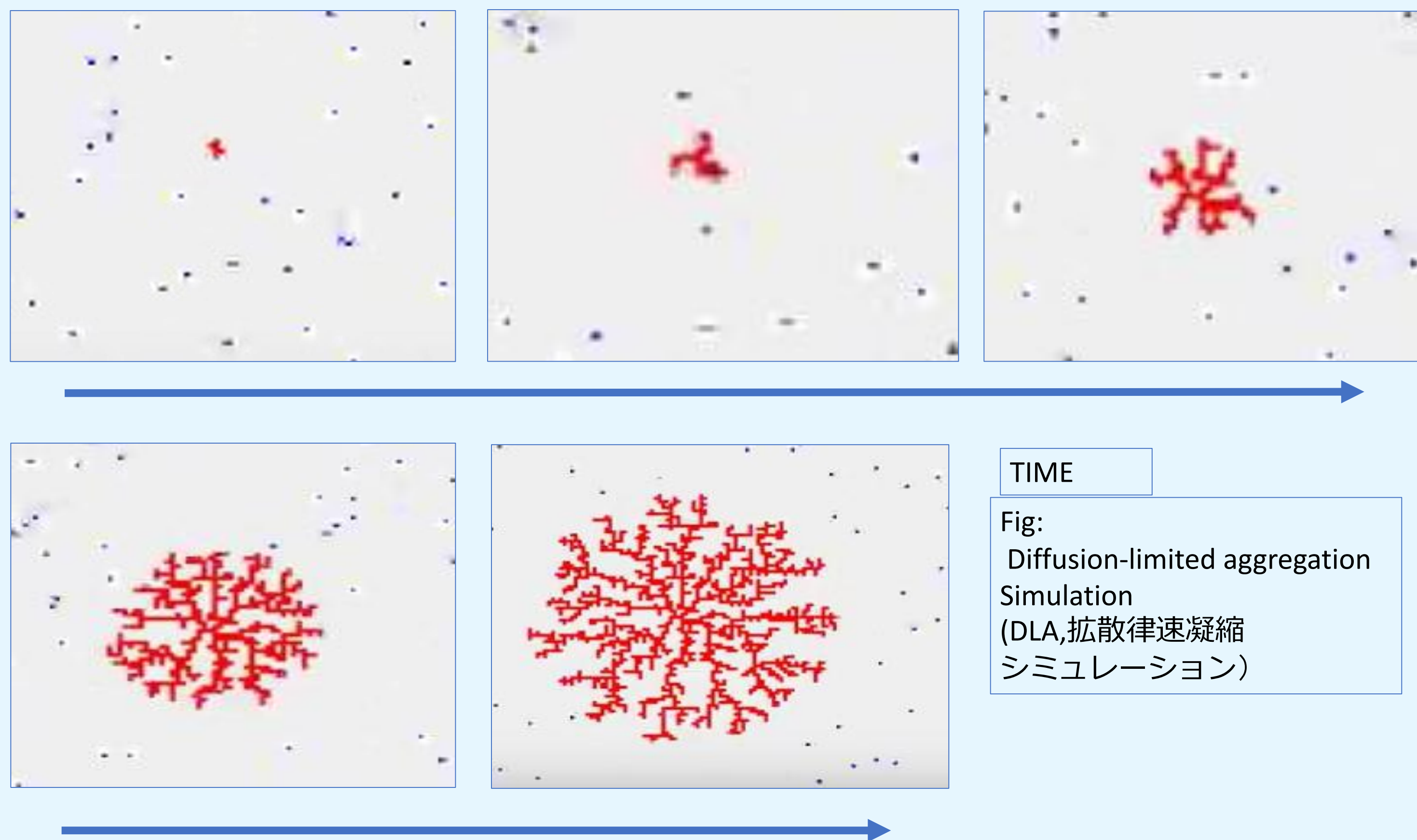
結果 形が崩れやすく、表面に凹凸が保存されない ← イオン結晶の物質
金平糖の物質…イオン結晶×

Mullins-Sekerka不安定

過飽和溶液中での結晶成長



DLAモデル



まとめ

金平糖の生成に必要な要素

化学的な説明

Mullins-Sekerka不安定

- 不安定化(凹凸が強調される)
- 安定化(凹凸を滑らかにする)

不安定な作用

- DLAモデル
- 温度差仮説
- 早川説

数学的な説明

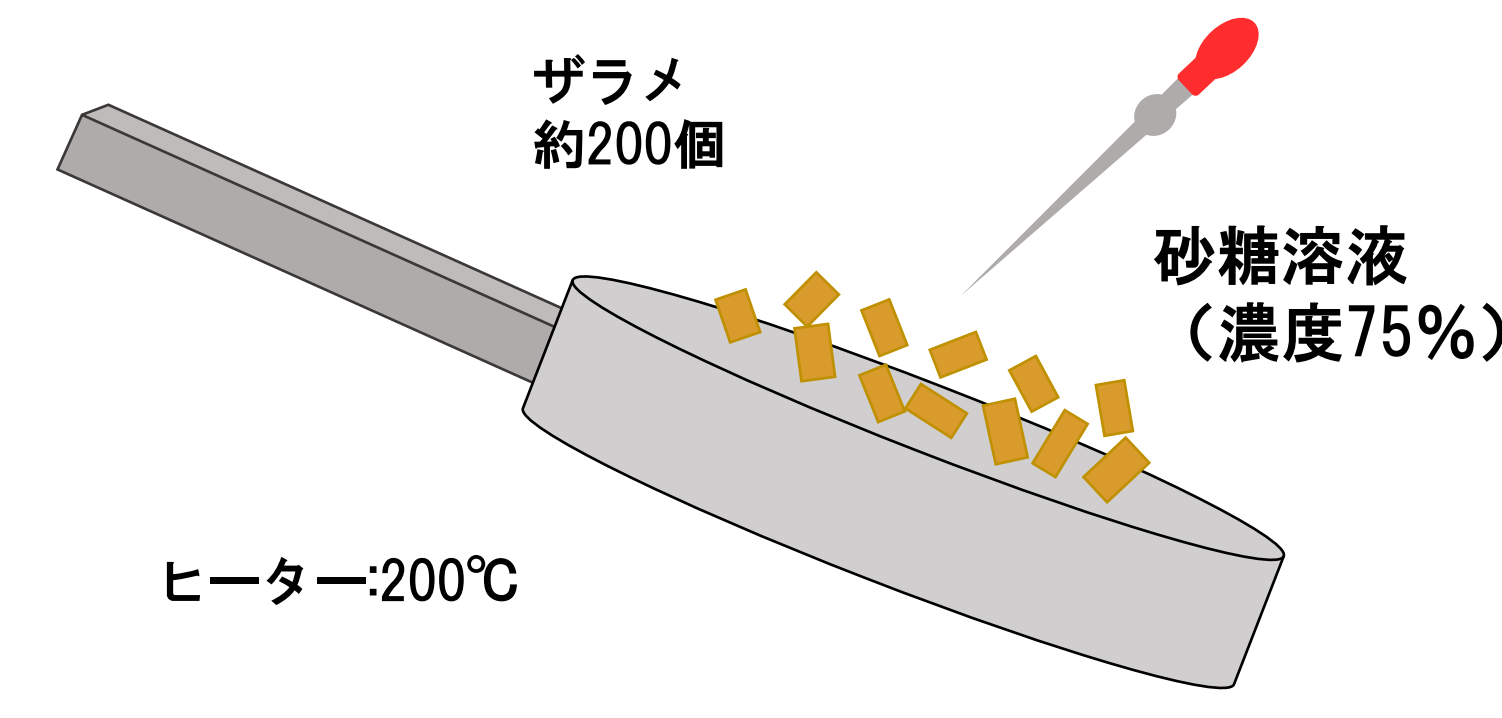
村井・中田モデル

- 組分け
- 一度付くと同じ場所につきやすい

+スクロースを用いるとできた凹凸が保存されやすい(実験2)

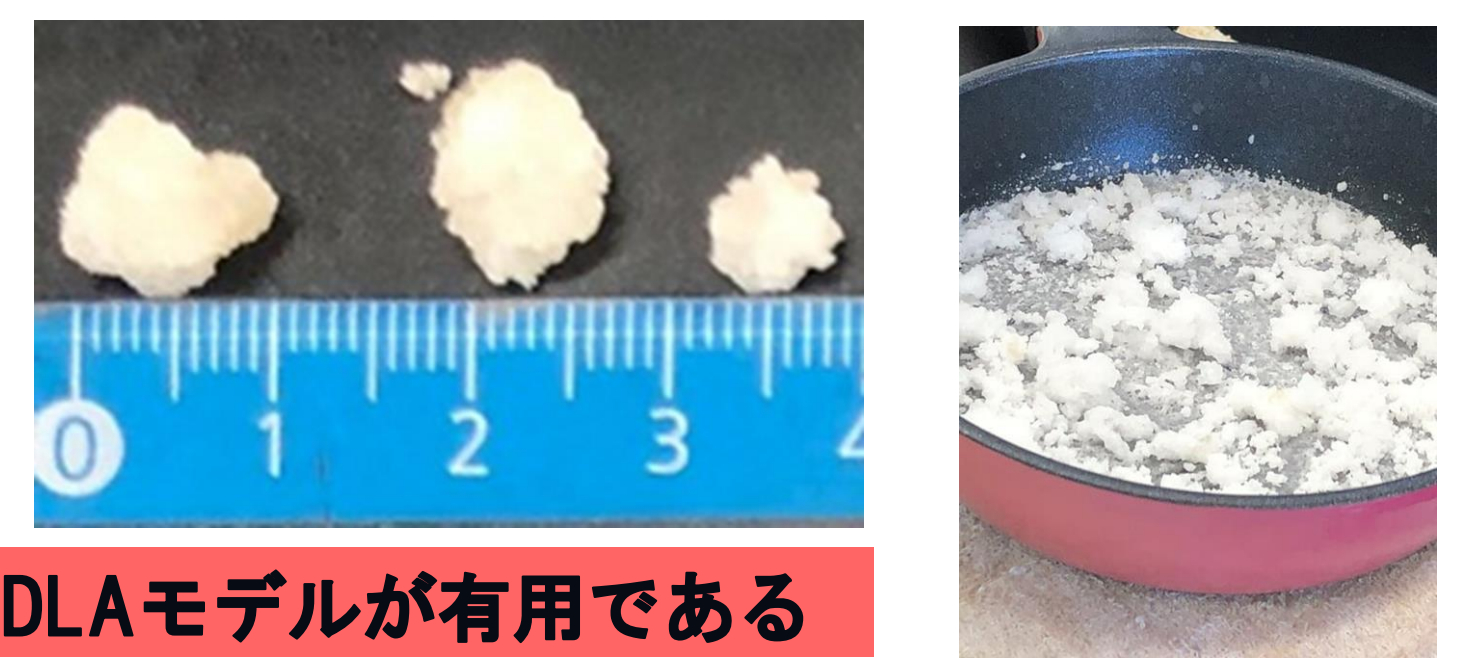
実験3

DLAモデルの立証



ザラメを散りばめたフライパン上で砂糖溶液を急激に加熱・蒸発させる

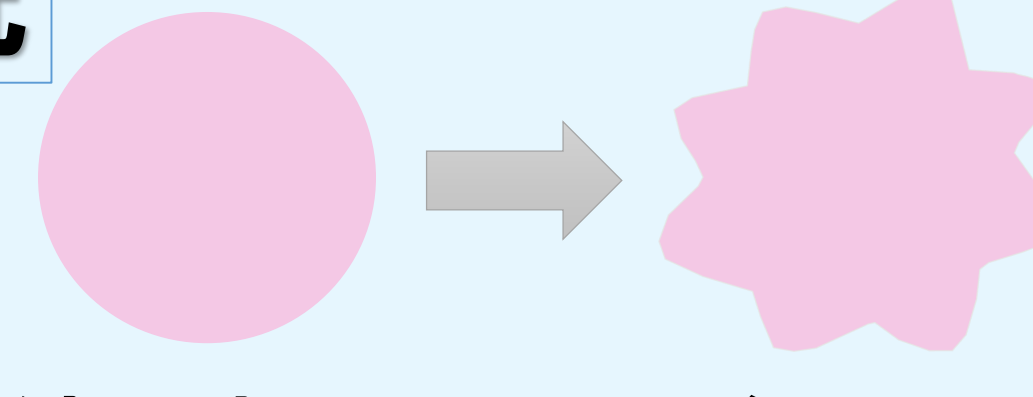
金平糖の角の生成に重要とされる攪拌・表面張力の作用の影響がほとんどない



結果 表面に凹凸があるクラスター的な固体が析出

DLAモデルが有用である

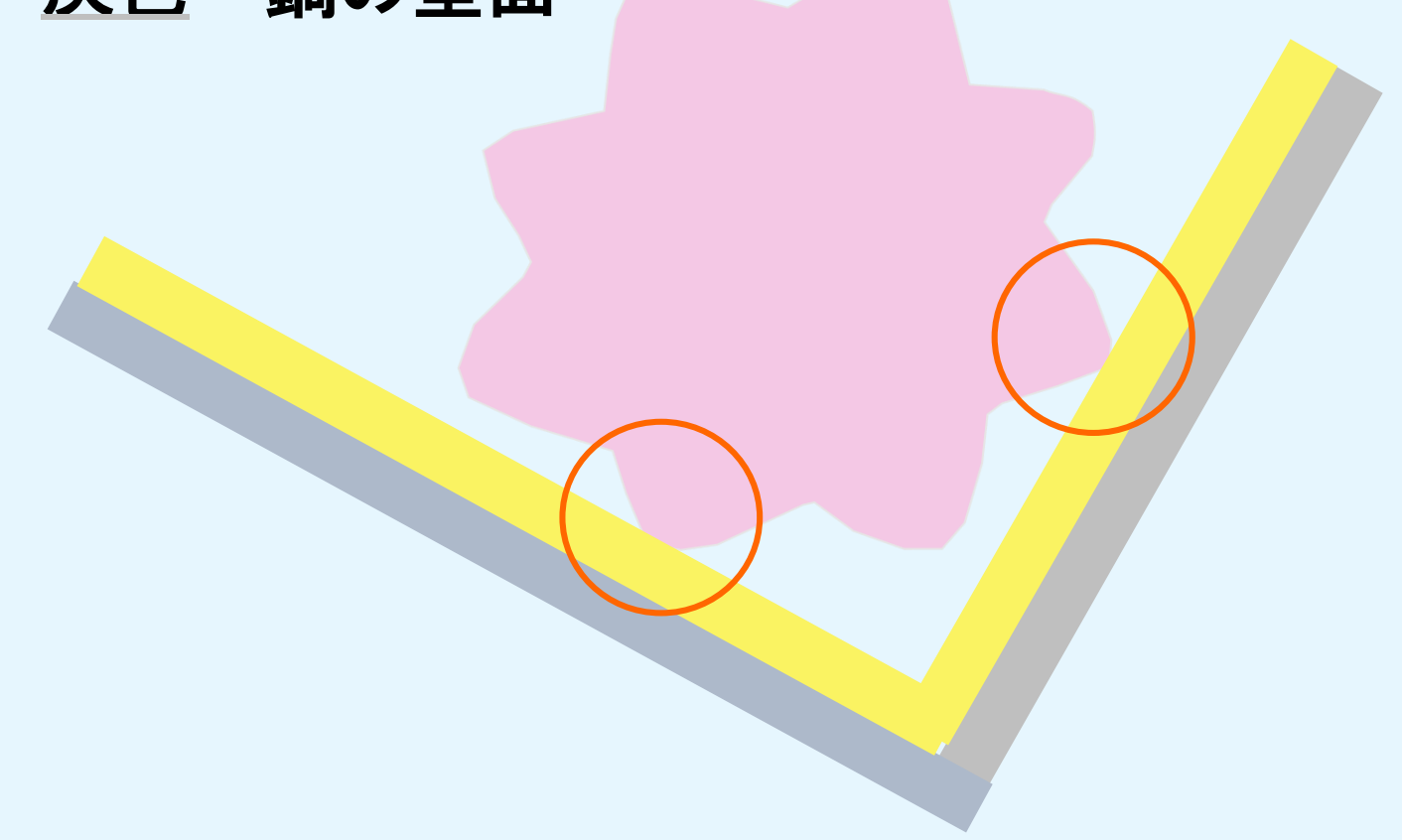
早川説



黄色…砂糖溶液
灰色…鍋の壁面

Step1:結晶表面に凹凸が生じる

Step2:一旦できた凸部は、鍋の壁面や他の金平糖と接触する可能性が高くなる。



新たな仮説の提案

温度差仮説

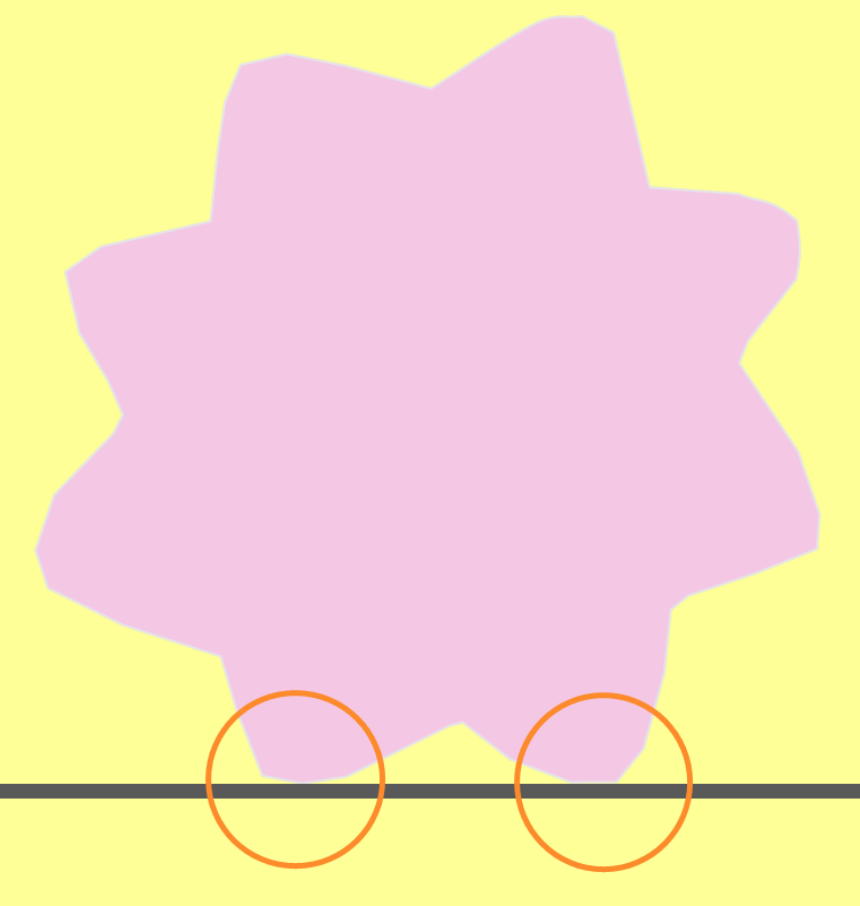
凹部より凸部の方が高温になる

凸部の方が結晶析出が早くなる

凹凸の差が大きくなる

鍋底

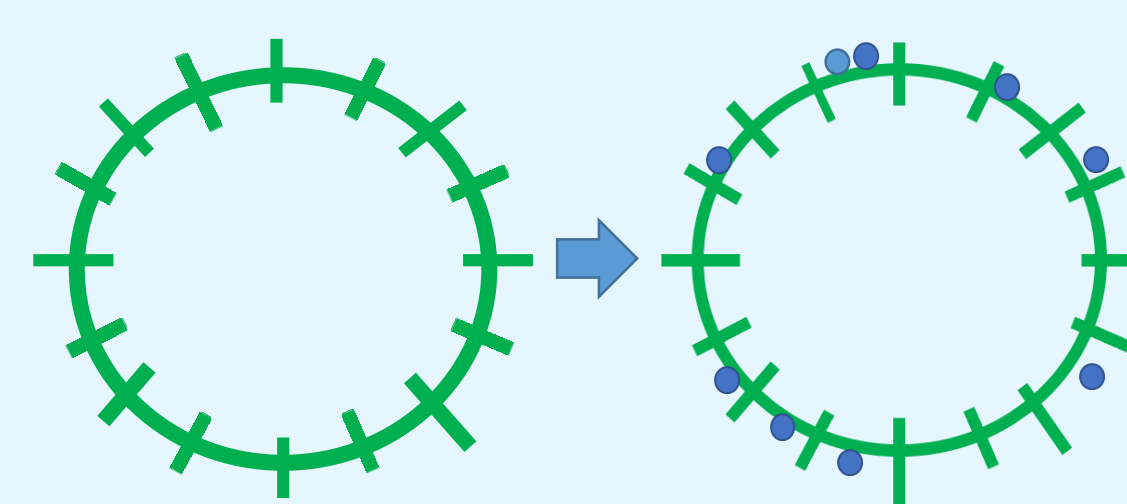
一旦凹凸ができれば凸部の方がより熱せられる



村井・中田モデル

円を等間隔にm個に分割

n個の糖蜜粒をランダムに分配



円を100区間に分割した時↓

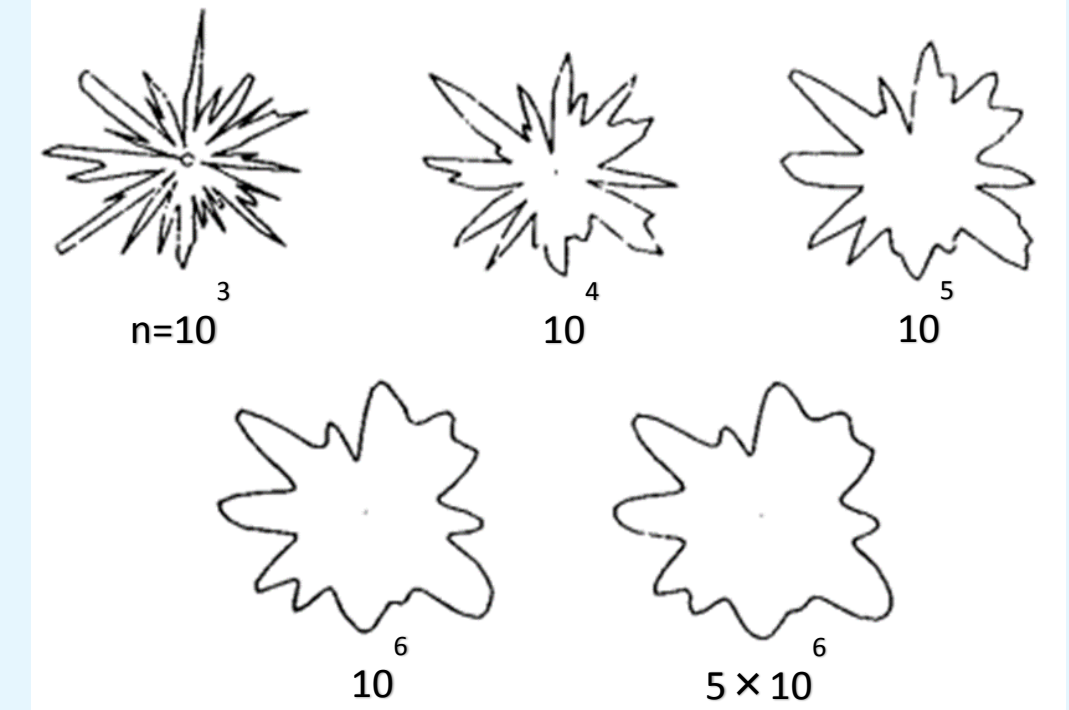


図:村井・中田モデルで予想される形状

村井・中田モデルの場合

均等に粒子が分布する必要がある

今後の展望

- ・サーモグラフィーを用いた凹部と凸部の温度差の観察(温度差仮説の立証)
- ・村井・中田モデルを溶液の粘度などの化学的要因を考慮したモデルに改良すること
- ・3Dスキャンを用いた結晶の評価方法の確立
- ・砂糖以外の物質でのさらなる実験

参考文献

- 1) 中田友一：金平糖の数理モデル，日本オペレーションズ・リサーチ学会論文集，Vol.40, No.3, pp.165-169, 1995.
- 2) 早川美徳,酒井勇：金平糖の成長過程とパターン,固体物理,Vol.42,No.5,pp305-312,2007
- 3) 松下貢ほか:DLAとそれに関連した現象,物性研究,Vol.48,No.5,pp.473-506, 1987
- 4) 塚本勝男：金平糖の不思議,砂糖類・でん粉情報2019年6月号,pp.2-6
- 5) 上之和人：液膜流下の結晶成長現象における普遍性—水柱と鍾乳石と金平糖—,数理解析研究所講義録,第1822巻,pp.84-96,2013
- 6) 上羽牧夫：薄膜結晶成長の基礎,名古屋大学理学部基礎講座,2008