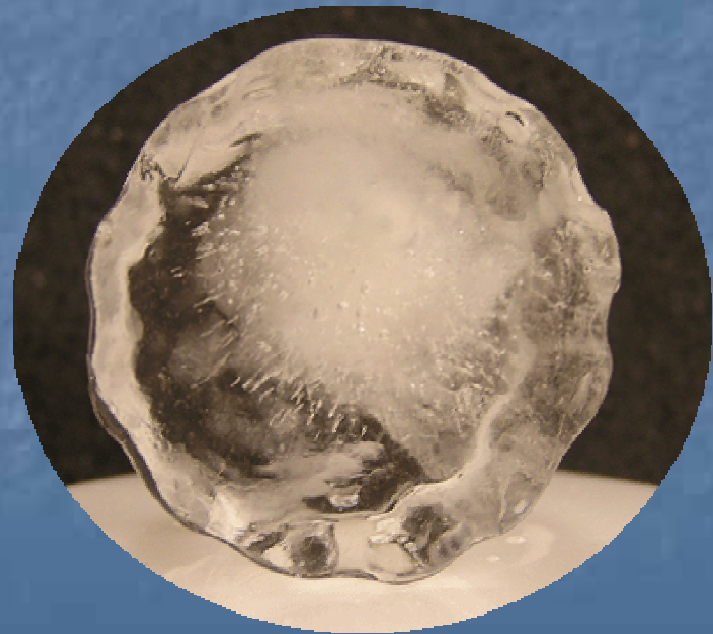
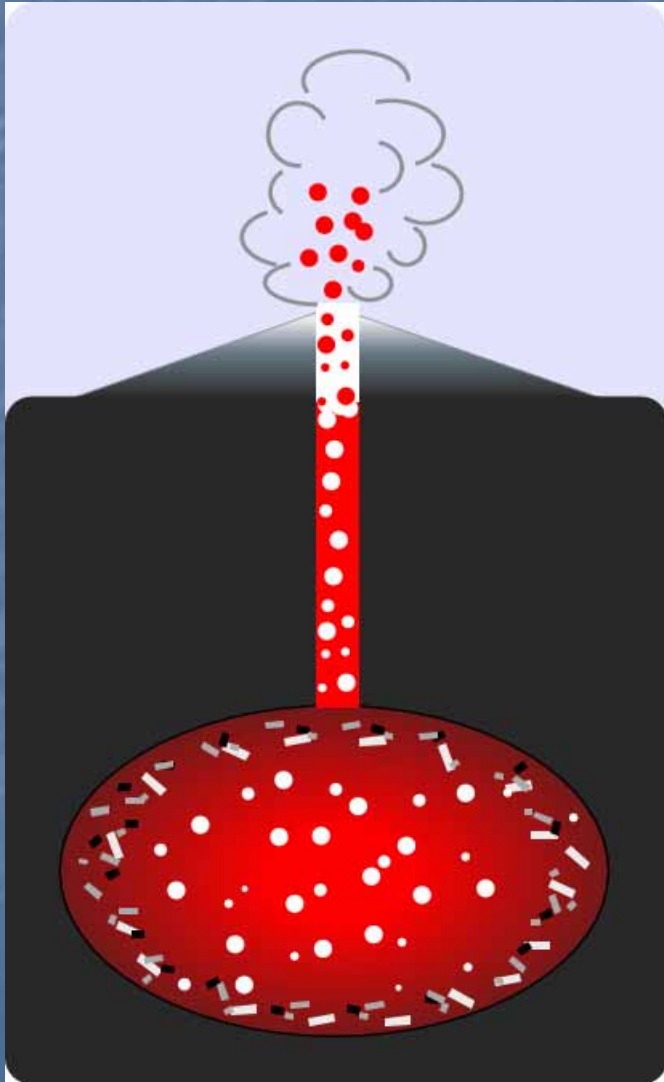


氷の中の気泡分布に残された 冷却過程の記憶

市原美恵（東大・地震研）・熊谷一郎（パリ地球物理学研究所）
柳澤孝寿・山岸保子（IFREE, JAMSTEC）



冷却・発泡・膨張・破壊→火山現象



冷凍庫の氷には，中心部に集中的に 細かい気泡ができる．なぜ？

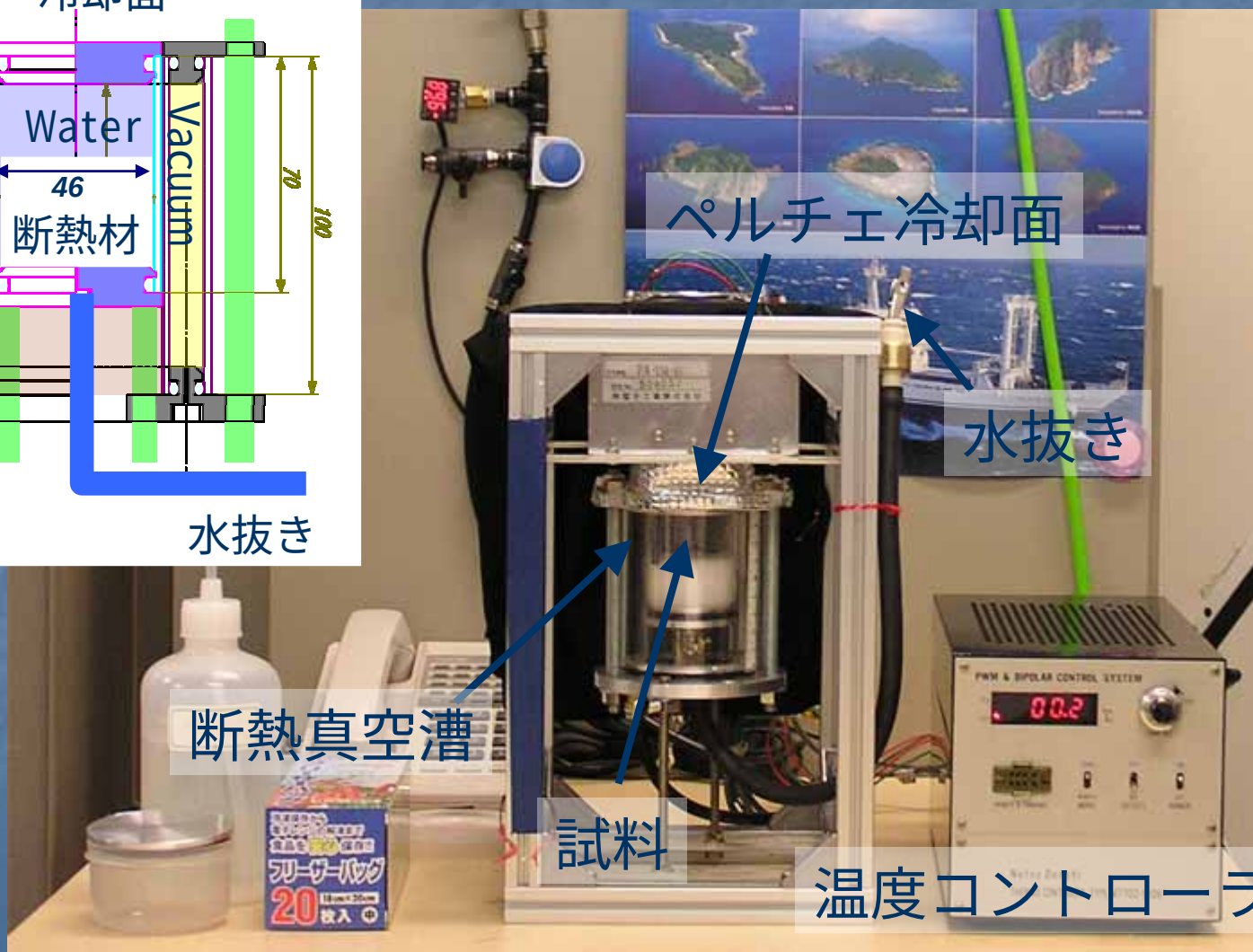
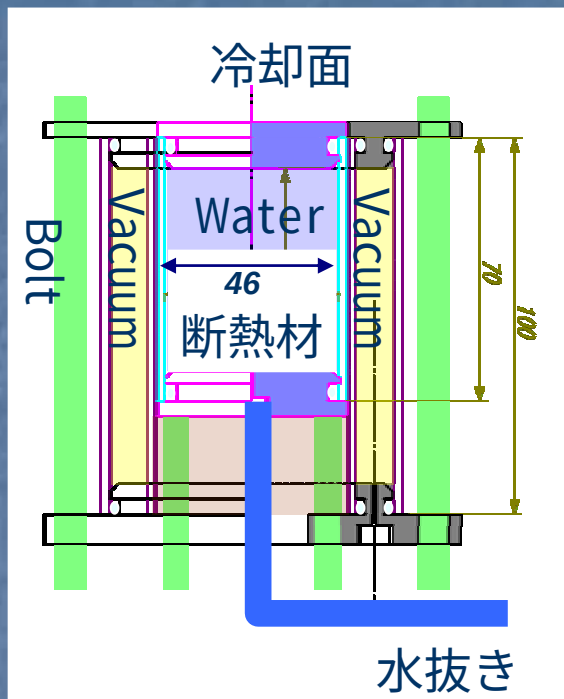
気体のはき出されるなら，
大きな気泡1つでもいい．



だんだんと気泡が
増えてもいい．



実験装置 1

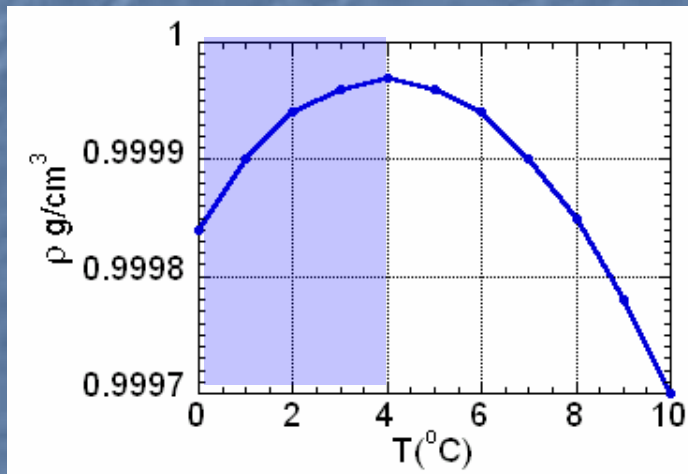


実験装置 2



基礎知識

水の密度は3.98°Cが最大



上から冷却

静止状態で氷が成長

気泡は氷から逃げにくい



下から冷却

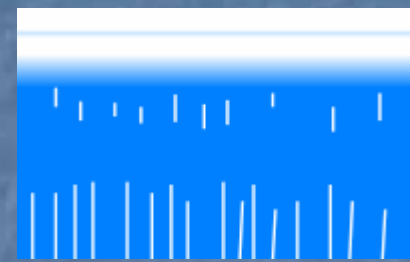
対流しながら氷が成長

気泡は浮き上がる



氷の構造（雲＋すじ＋透明）

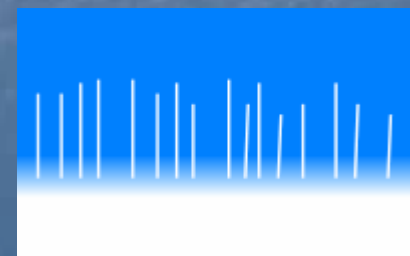
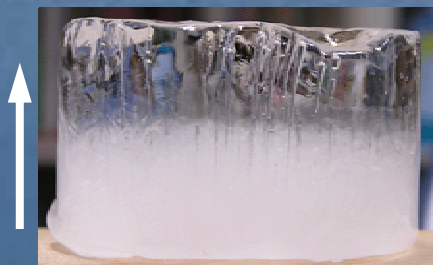
上から冷却



下から冷却



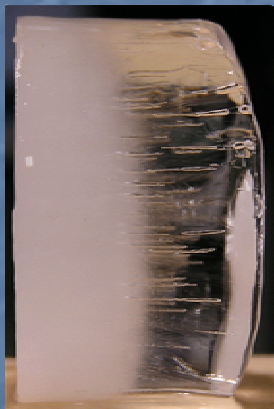
横から冷却



冷凍庫の氷との違い

ペルチェ冷却

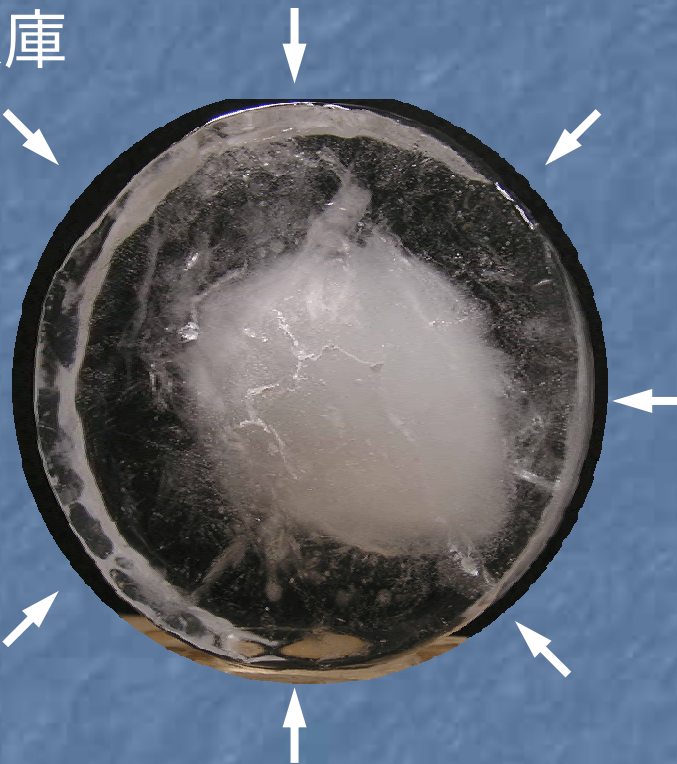
冷却面



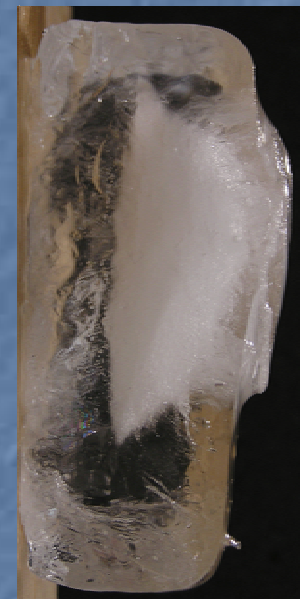
雲→すじ→透明

冷凍庫

冷却面

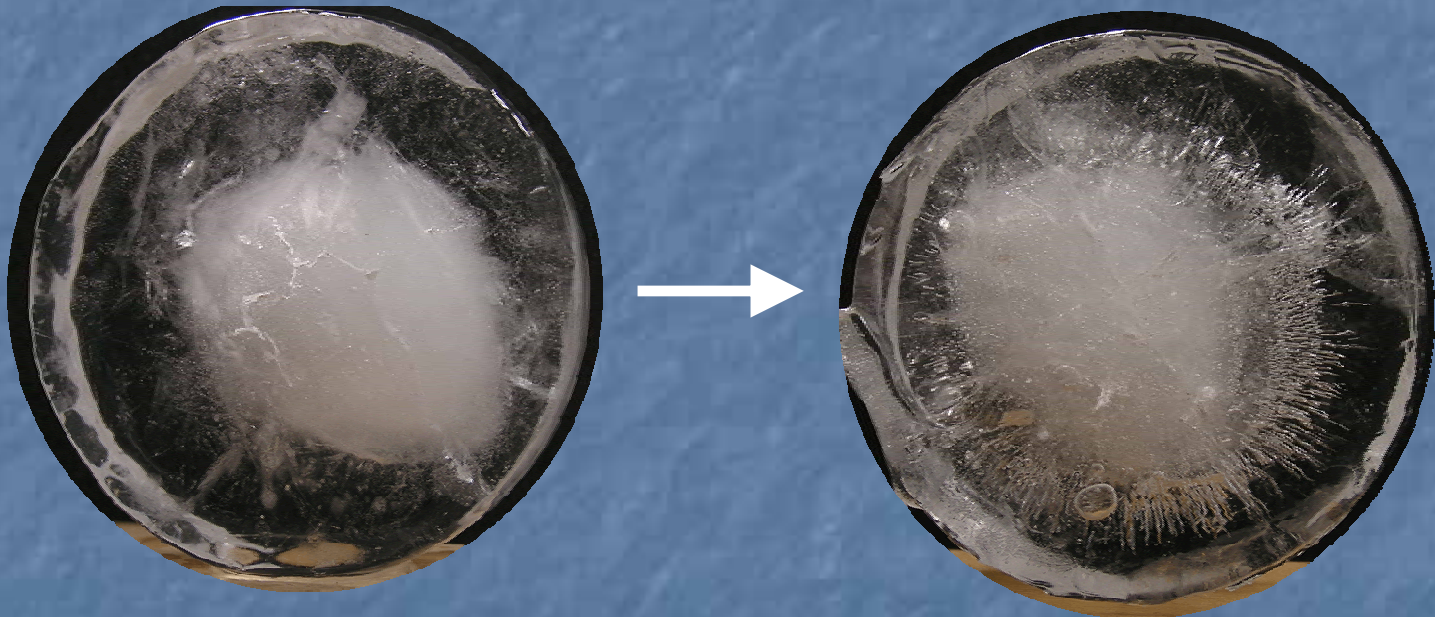


透明→（すじ）→雲



内部の圧力で氷が割れ，減圧発泡？ →途中で圧を抜いたら

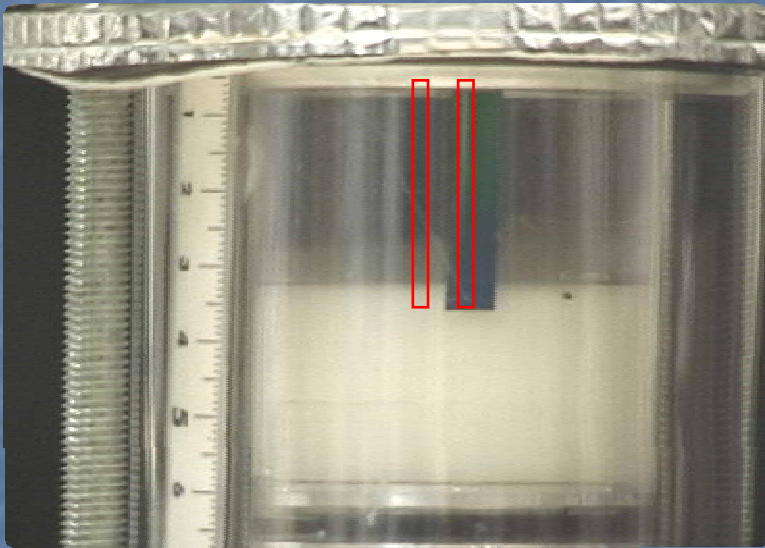
内部に液体が残っている状態で
表面に穴を空け，ストローを立てる



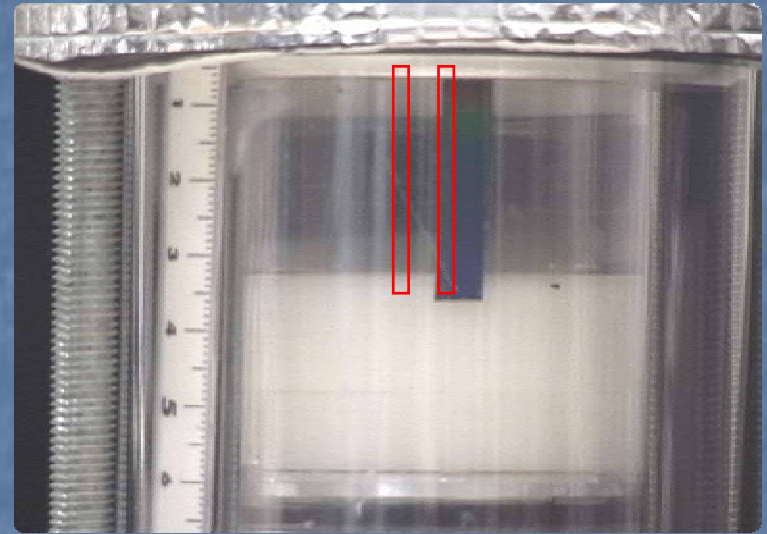
すじが顕著になった
真ん中の細かい気泡は変わらない。

凍っていく様子（ビデオ画像より）

冷却開始直後

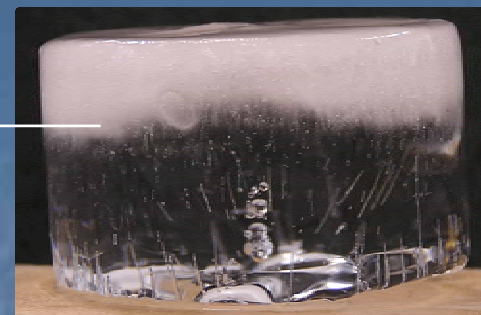
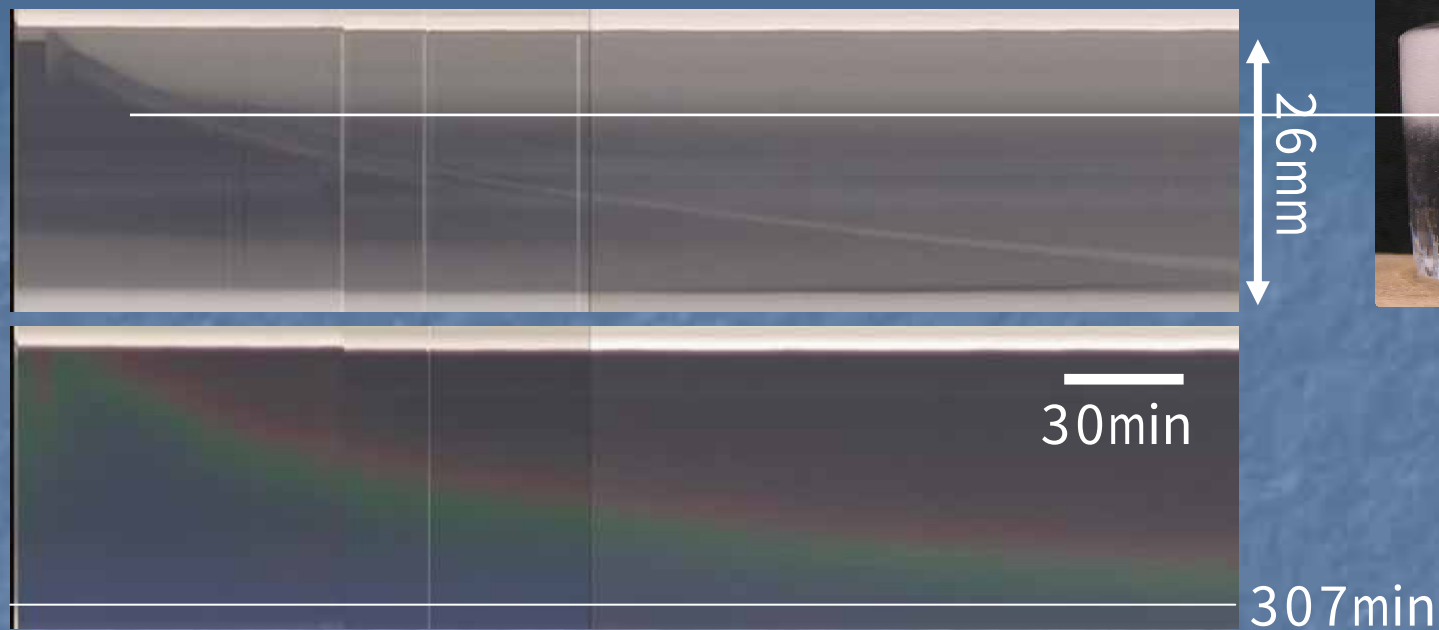


30分後

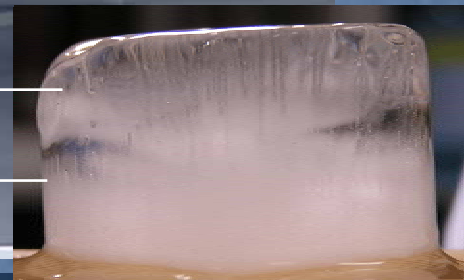
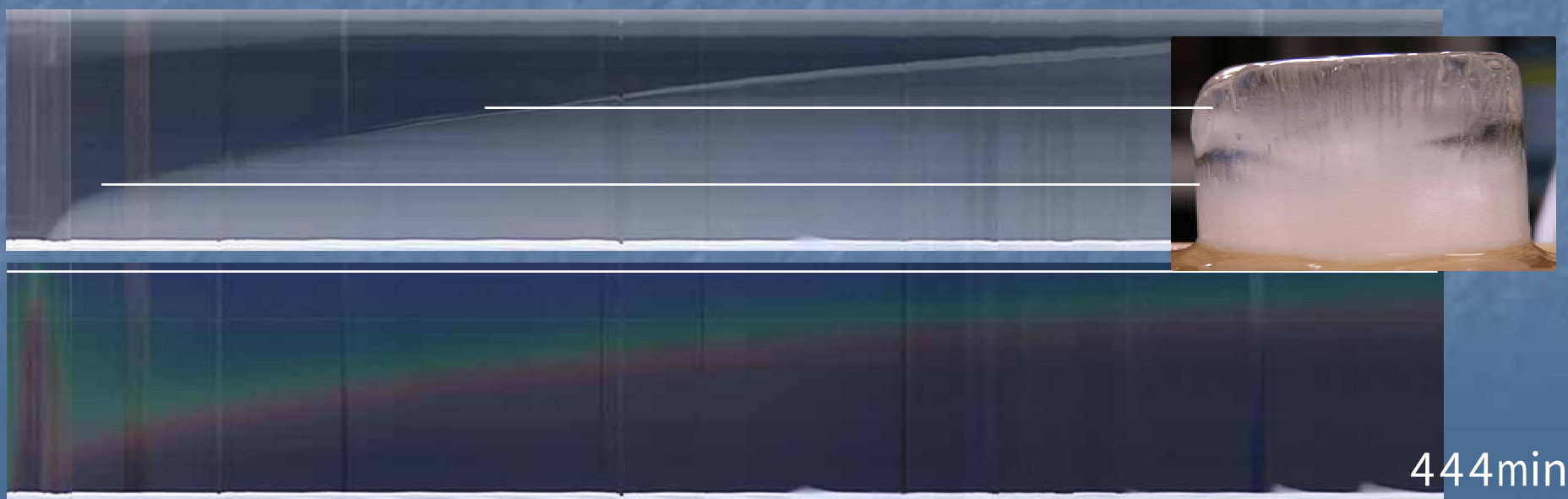


画像から決まった場所を切り出し，時間毎に並べる

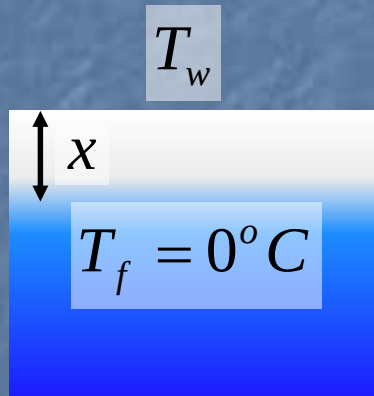
上面冷却



下面冷却



ペルチェと冷凍庫の違いは、 氷の成長速度で説明できるか？

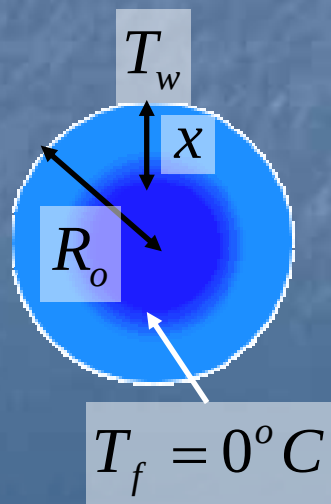
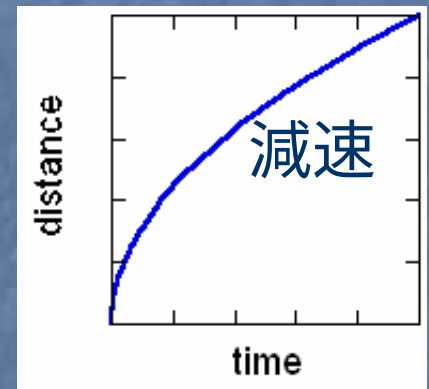


熱流量＝潜熱，準定常モデル

$$d^2T / dx^2 = 0$$

$$K (T_f - T_w) / x = L \dot{x}$$

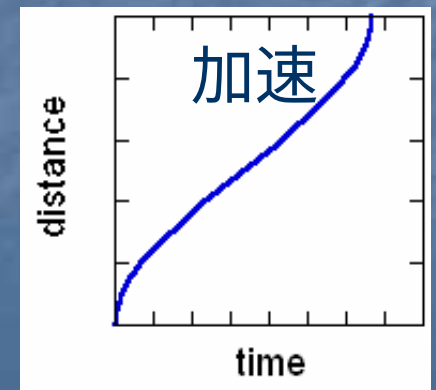
$$t = x^2 L / 2K (T_f - T_w)$$



$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0$$

$$KR^2 (\partial T / \partial r)_{r=R} = -LR^2 \dot{R}$$

$$t = \frac{L}{2K (T_f - T_w)} \left(x^2 - \frac{2x^3}{3R_0} \right)$$



炭酸水を凍らせたら？

ペルチェ上面冷却

冷凍庫

表面



表面



断面



断面



雲→すじ

すじ→雲

まとめ

