

第3回 超高精度メソスケール気象予測研究会

多次元ビン法NHMの開発・改良

物理アンサンブルのための基礎実験

橋本明弘 (気象研)

**Development of cloud resolving model involving
multi-dimensional bin-microphysics**

Fundamental experiment for multi-physics ensemble

Akihiro Hashimoto

Meteorological Research Institute

Research design

Numerical simulation

雲・降水粒子の多様な物理特性を精密に表現できるビン法雲解像モデルを用いて、雲核・氷晶核から雲・降水までを詳細に再現する数値実験を行う。

移植

事例抽出

検証

素過程のアップ
グレード

簡略化

Improvement of bulk microphysics

ビン法雲解像モデルを用いた詳細な雲・降水再現実験に基づいてバルク法の改良を行い、バルク法雲物理過程の高精度化を図るとともに、バルク法雲物理過程の誤差を評価することで、アンサンブル予報における物理過程摂動手法への情報を与える。

Contribution to ensemble forecast

サブ課題bとの情報交換

ビン法雲解像モデルによる数値実験は膨大な計算コストを要するため、サブ課題bと協力し、集中豪雨や局地的大雨の典型事例や極端な事例を選抜して実験数を抑制する。

ビン法雲物理過程の妥当性を検証するため、野外観測データを入手してモデル結果との比較を行う。

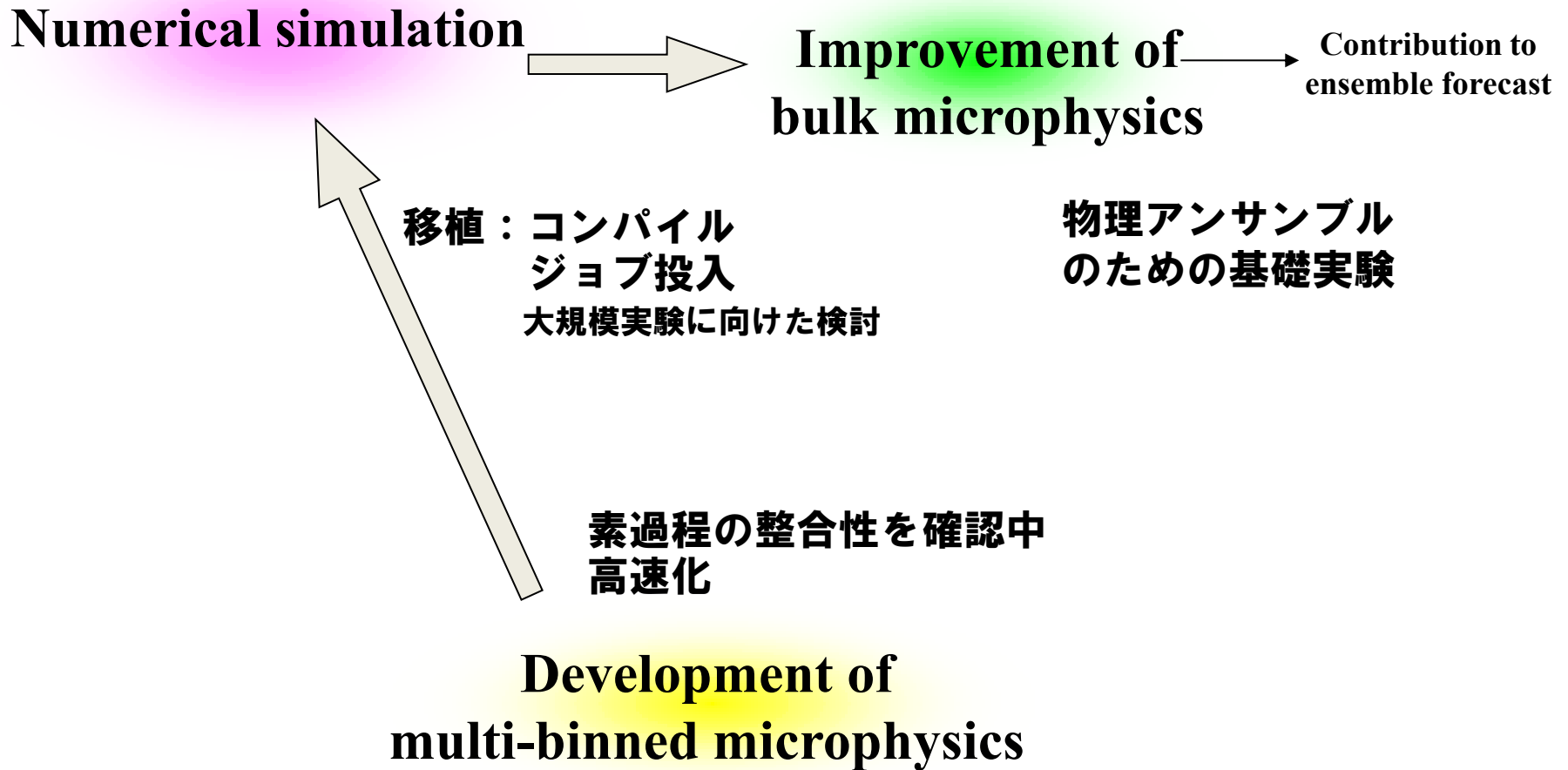
雲核・氷晶核の活性化能に関する室内実験の結果他に基づいて、モデル素過程を改良する。

雲・降水過程の詳細な再現には、高次元・多数のビンを確保する必要があるが、膨大な計算資源を要するため、次世代スパコンにおいても現実的なアプローチではない。そのため、実験対象に応じて計算精度を保ちつつ計算効率を上げるための簡略化を図る。

Development of multi-binned microphysics

雲・降水粒子の物理特性を複数の変数で表現する多次元ビン法雲物理過程を雲解像モデルに導入するとともに、最近の雲核・氷晶核に関する室内実験結果や多様な野外観測データとの比較に基づいてモデル素過程を改良する。

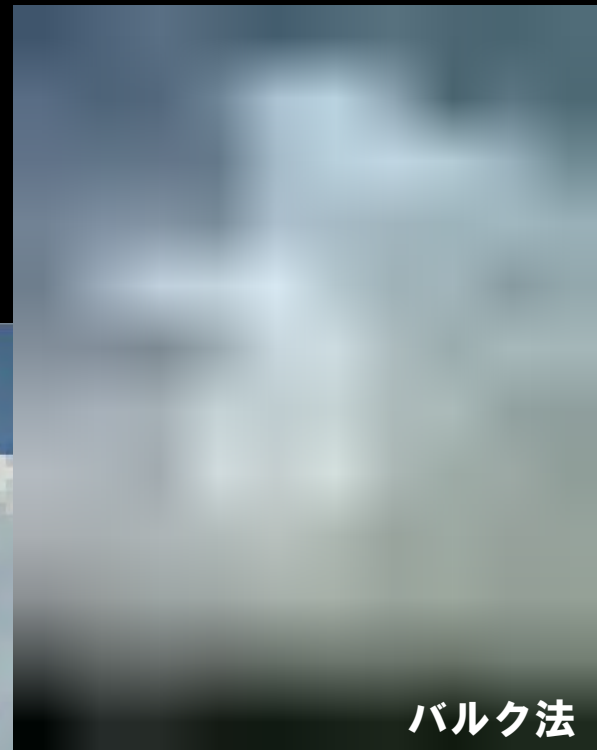
Research design



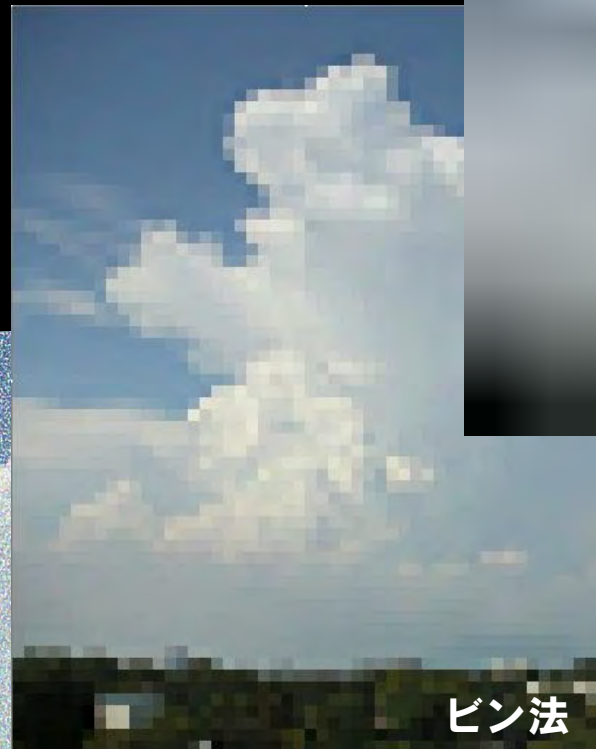
自然の雲



バルク法



ビン法

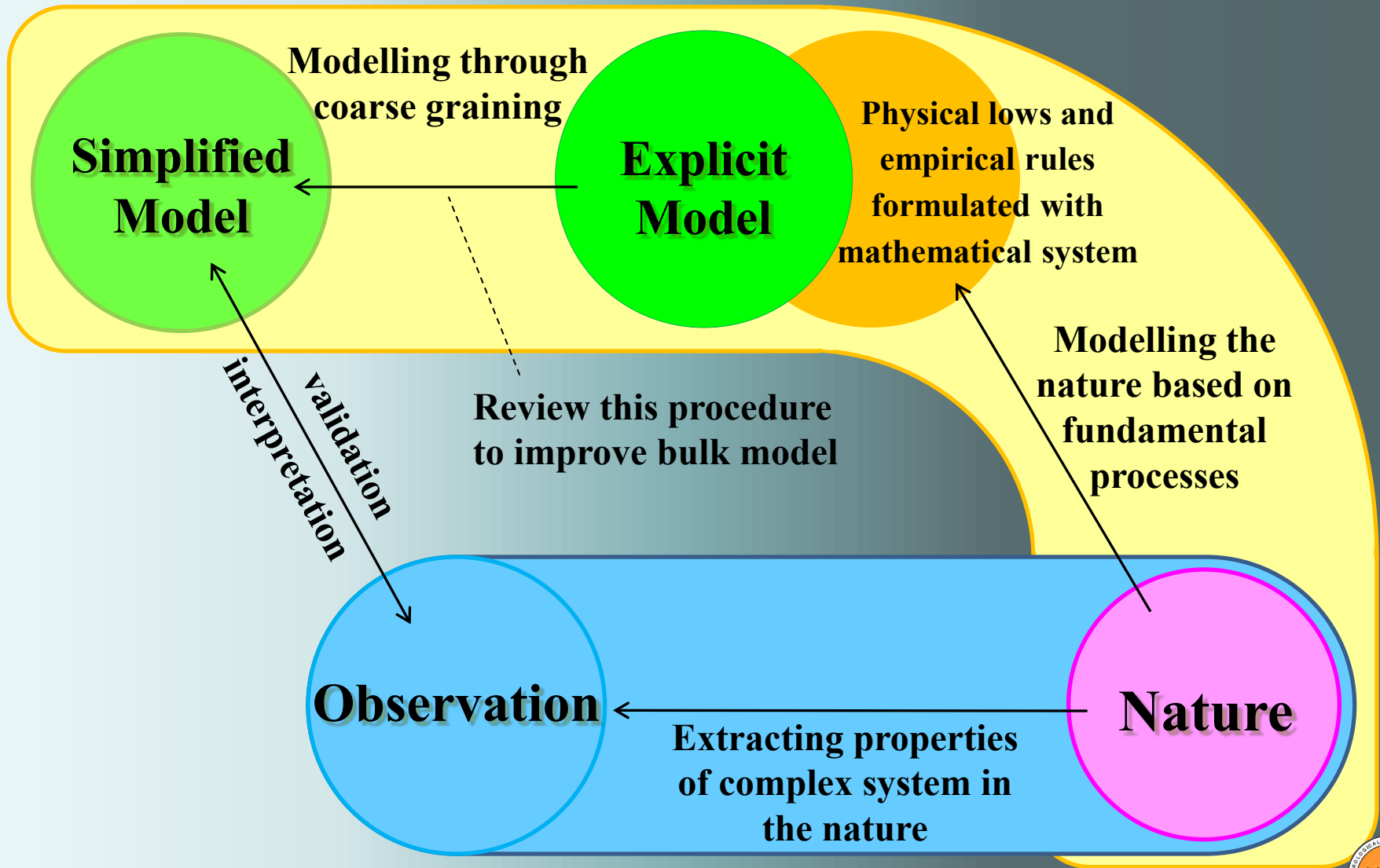


粒子法



自然界の雲を計算機上で完全に再現することは不可能。計算機が手におえる程度にまで粗視化する必要がある。粗視化にはいくつか方法がある。

Hierarchical approach to modelling

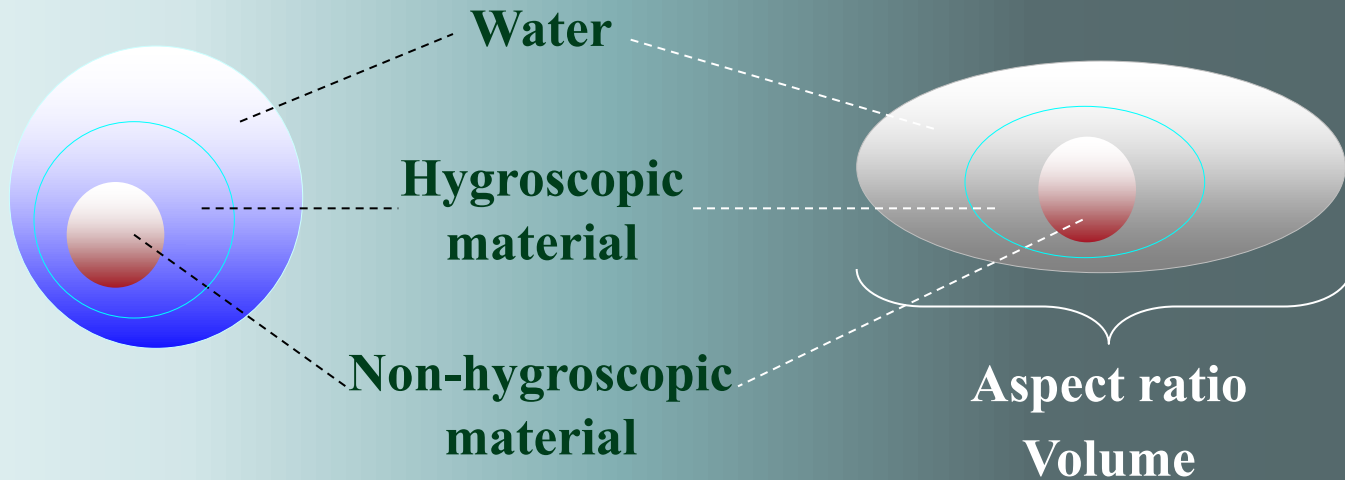


Multi-dimensional bin microphysics

Description of hydrometeors

Water

Ice



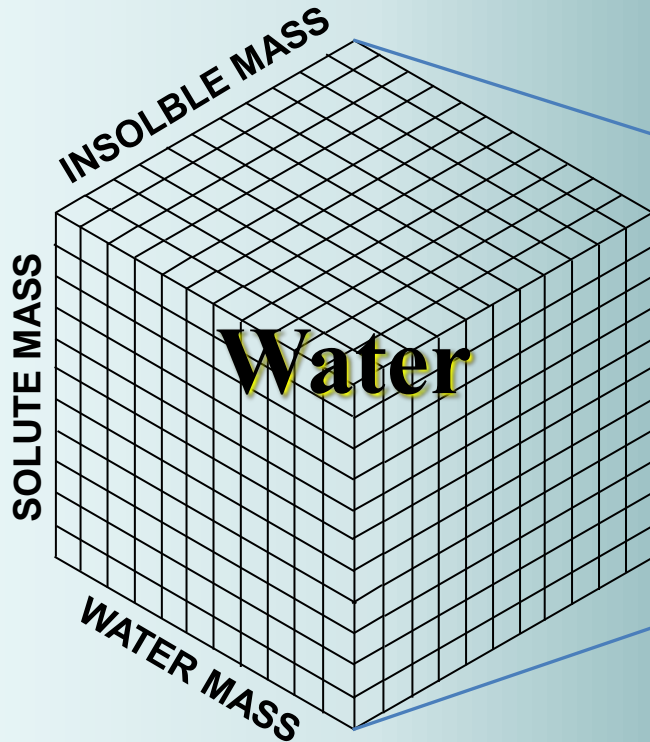
Three properties

Five properties

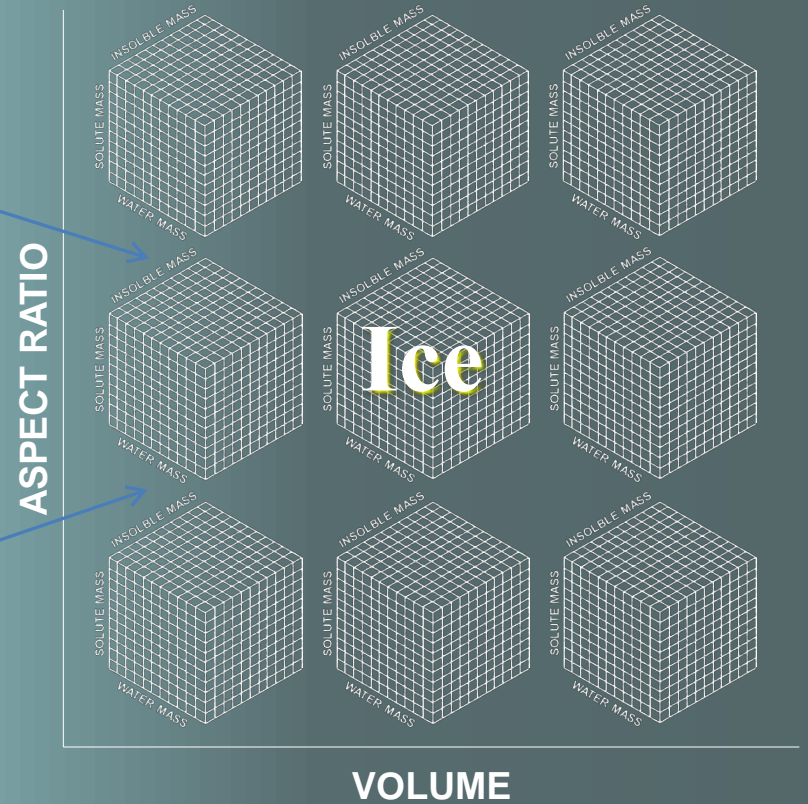
Still so simple compared to the nature, but more sophisticated than the other current SBMs

Multi-dimensional bin microphysics

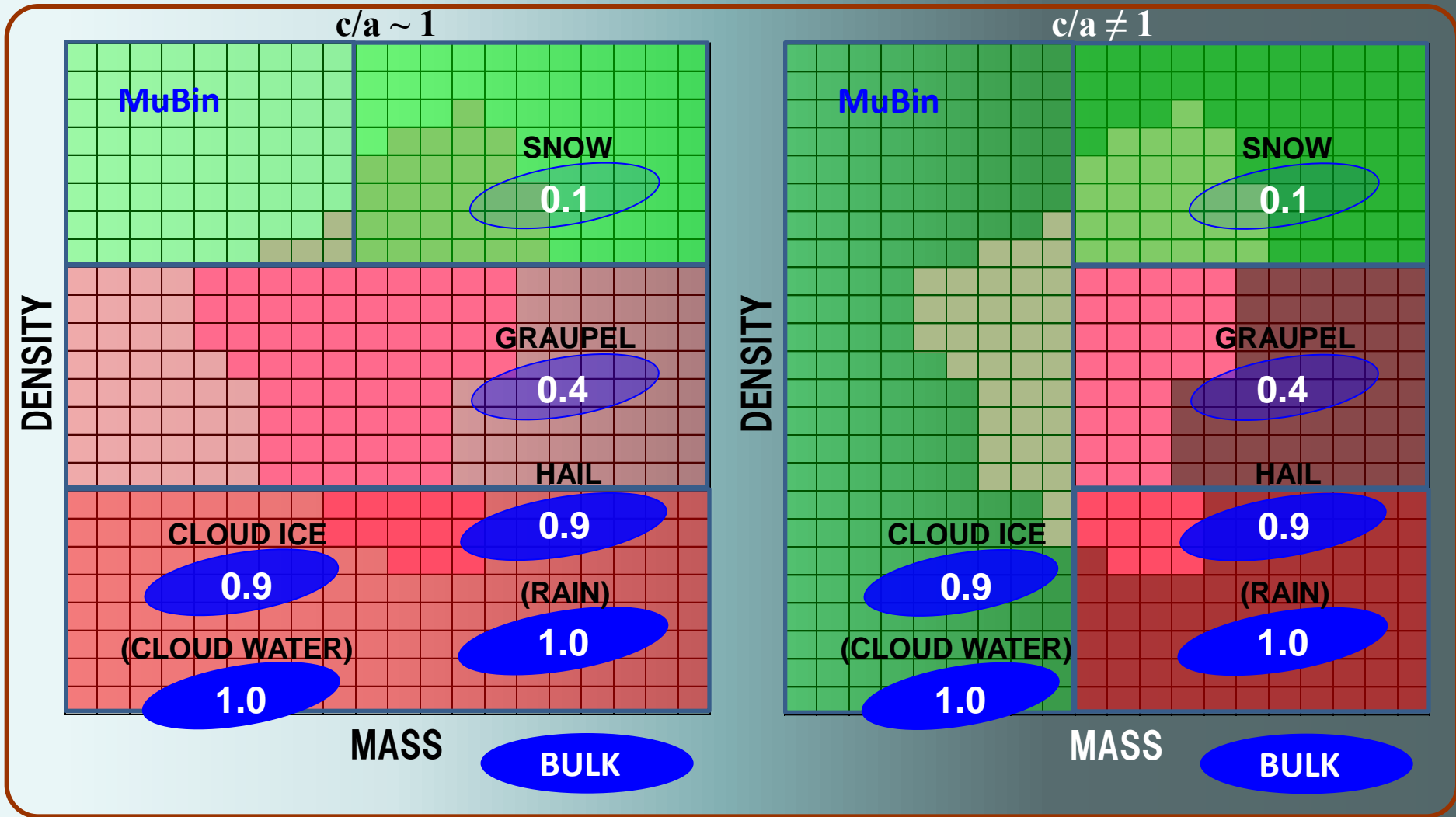
Three-dimensional bin



Five-dimensional bin



Translation of multi-bin model result



Misumi, R., A. Hashimoto, M. Murakami, N. Kuba, N. Orikasa, A. Saito, T. Tajiri, K. Yamashita and J.-P. Chen, 2010: Microphysical structure of a developing convective snow cloud simulated by an improved version of the multi-dimensional bin model. *Atmos. Sci. Let.*, **11**, 186-191. [doi:10.1002/asl.268](https://doi.org/10.1002/asl.268)



Motivation

アンサンブル

雲物理モジュール A

雲物理モジュール B

雲物理モジュール C

モデリング手法の違いは
たいてい主観的要因による

開発の目的や開発者が物事をどう捉えるか
によって変わる。

物理的意味合いが不明

アンサンブル

雲物理モジュール A (, B, C)

素過程を規定する因子
{ $X; X_0 - \delta, X_0 + \delta$ }

素過程を規定する因子（捕捉率など）は
モデルの粗視化の過程で精度が落ちる

粗視化による精度の劣化を誤差
要因と捉える

ある程度客観的な議論ができる

Depositional growth of ice particles

Depositional growth rate

Prognosed in the multi-binned microphysics model

$$\int_0^{\infty} 4\pi (S_i - 1) C \left[\frac{R_v T_{\infty}}{e s_i D'_v(D_x)} + \frac{L_s}{\kappa' a(D_x) T_{\infty}} \left(\frac{L_s}{R_v T_{\infty}} - 1 \right) \right]^{-1} D_x n'_x(D_x) dD_x$$

$$= K_0 4\pi (S_i - 1) C \left[\frac{R_v T_{\infty}}{e s_i D_v} + \frac{L_s}{\kappa a T_{\infty}} \left(\frac{L_s}{R_v T_{\infty}} - 1 \right) \right]^{-1} \int_0^{\infty} D_x n_x(D_x) dD_x$$

Function of size and aspect ratio representing the shape effect of hydrometeors and kinetic effect in diffusional growth process, usually ignored in bulk microphysics

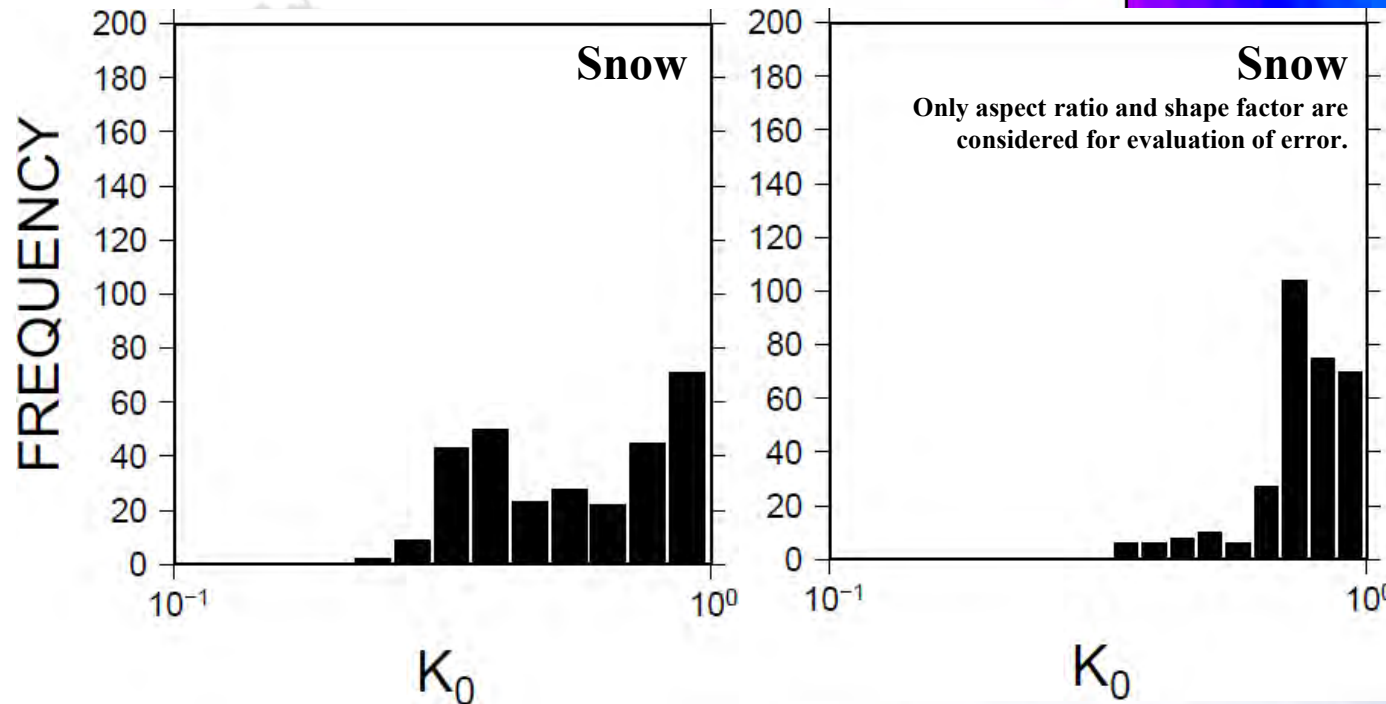
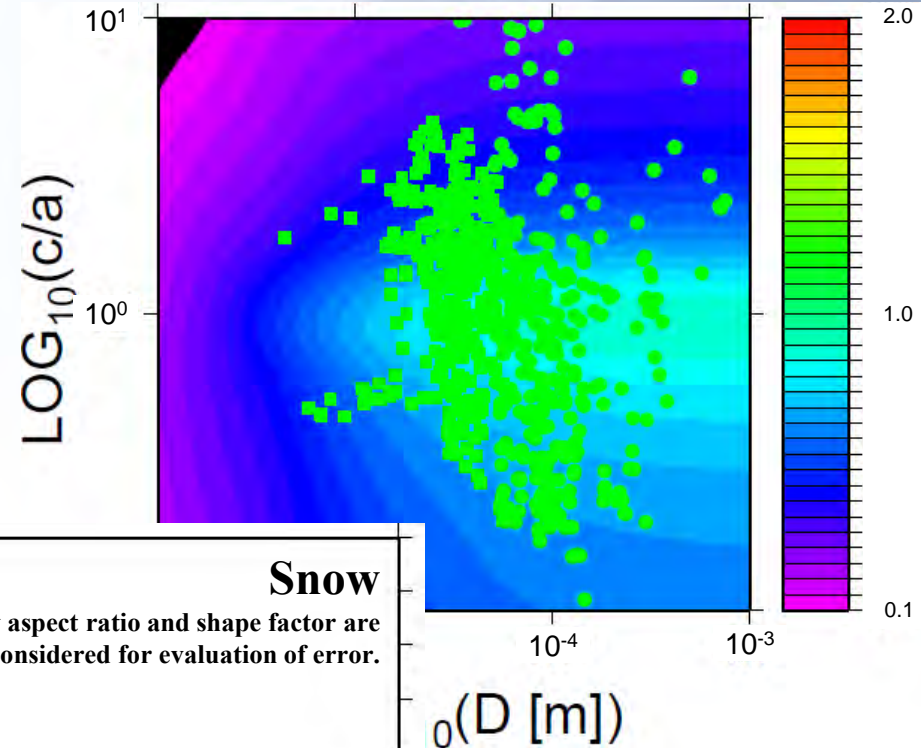
$$K_0 = \frac{\int_0^{\infty} 4\pi (S_i - 1) C \left[\frac{R_v T_{\infty}}{e s_i D'_v(D_x)} + \frac{L_s}{\kappa' a(D_x) T_{\infty}} \left(\frac{L_s}{R_v T_{\infty}} - 1 \right) \right]^{-1} D_x n'_x(D_x) dD_x}{4\pi (S_i - 1) C \left[\frac{R_v T_{\infty}}{e s_i D_v} + \frac{L_s}{\kappa a T_{\infty}} \left(\frac{L_s}{R_v T_{\infty}} - 1 \right) \right]^{-1} \int_0^{\infty} D_x n_x(D_x) dD_x}$$

Correction ratio

evaluated by multi-bin model

Correction ratio

Values less than unity can be the source of error in determination of riming growth rate, when a model assume spherical hydrometeors and no kinetic effect on diffusional growth



Apparent collection efficiency Riming: Snow-Droplet

Riming growth rate

Collection efficiency is a complicated function of size of hydrometeor in the nature, so hard for bulk microphysics to integrate explicitly.

$$\int_0^\infty \int_0^\infty E_{xy} \frac{\pi}{4} (D_x + D_y)^2 |U_x(D_x) - U_y(D_y)| \frac{\rho_y}{\rho_a} \frac{\pi}{6} D_y^3 n_x(D_x) n_y(D_y) dD_x dD_y$$

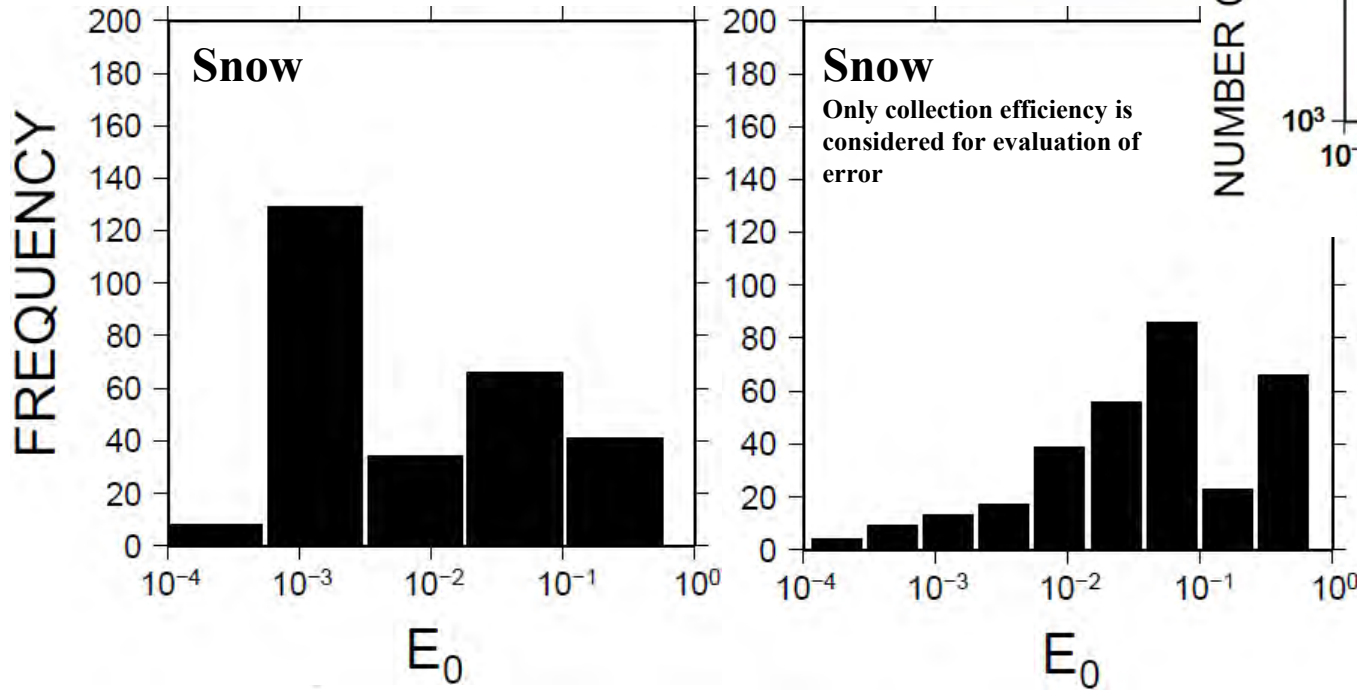
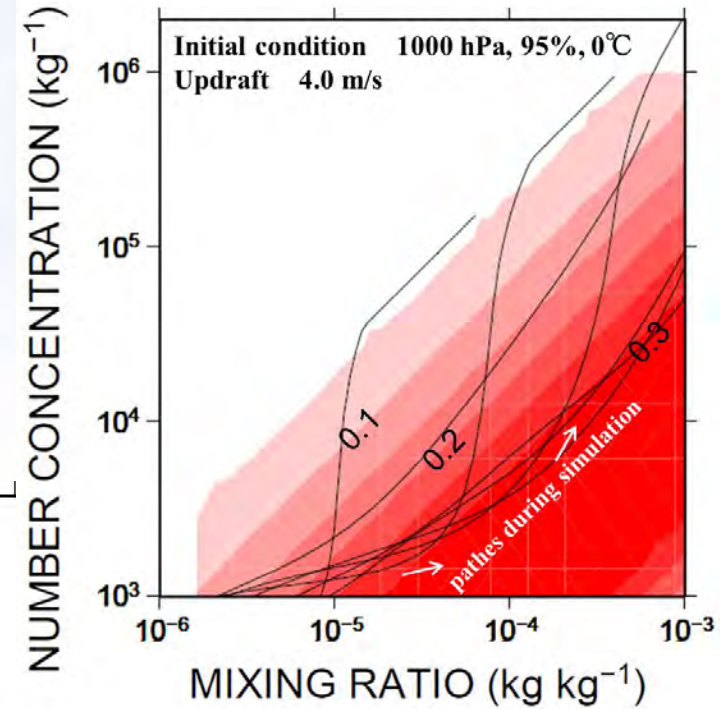
$$= E_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\pi}{4} (D_x + D_y)^2 |U_x(D_x) - U_y(D_y)| \frac{\rho_y}{\rho_a} \frac{\pi}{6} D_y^3 n_x(D_x) n_y(D_y) dD_x dD_y$$

$$E_0 = \frac{\int_0^\infty \int_0^\infty E_{xy} \frac{\pi}{4} (D_x + D_y)^2 |U_x(D_x) - U_y(D_y)| \frac{\rho_y}{\rho_a} \frac{\pi}{6} D_y^3 n_x(D_x) n_y(D_y) dD_x dD_y}{\int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\pi}{4} (D_x + D_y)^2 |U_x(D_x) - U_y(D_y)| \frac{\rho_y}{\rho_a} \frac{\pi}{6} D_y^3 n_x(D_x) n_y(D_y) dD_x dD_y}$$

evaluate using multi-bin model

Apparent collection efficiency Riming: Snow-Droplet

The range of collection efficiency can be the source of error in determination of collection rate of cloud droplet, when a model assumes a constant value for collection efficiency.



Summary

バルク法雲物理の改良

多次元ビン法雲物理に基づくバルク法雲物理の開発・改良

物理アンサンブルのための多次元ビン法雲物理を用いた基礎実験

多次元ビンNHM開発

素過程の整合性を確認中

高速化と大規模実験にむけた検討



K computer