

令和5年度 気象研究所研究成果発表会

災害をもたらす自然現象や気候変動を理解し、命と暮らしを守る最新研究

2. 雪粒子の特徴から探る降水形成メカニズム

気象予報研究部 橋本 明弘

雪粒子の特徴から探る降水形成メカニズム



橋本明弘

気象研究所 気象予報研究部

令和5年度 気象研究所 研究成果発表会 2023年12月2日

本研究の一部は、気象研究所緊急研究「集中観測等による線状降水帯の機構解明研究」、および、JSPS科研費 22K03724 の助成を受けたものです。

大気の物理過程の解明とモデル化に関する研究

背景

- 平成27年7月気象分科会提言「集中豪雨と台風の予測精度向上のための数値予報技術開発が中長期課題」
 - 線状降水帯等の予測のためのモデル化技術の開発が必要
 - 台風による大雨や強風を適切に予測する高解像度モデルの広域運用の利用可能性評価が必要
- 数値予報モデル開発懇談会(平成29年7月、12月)「物理過程の高度化が重要な課題の一つであることを認識」

数値予報モデル

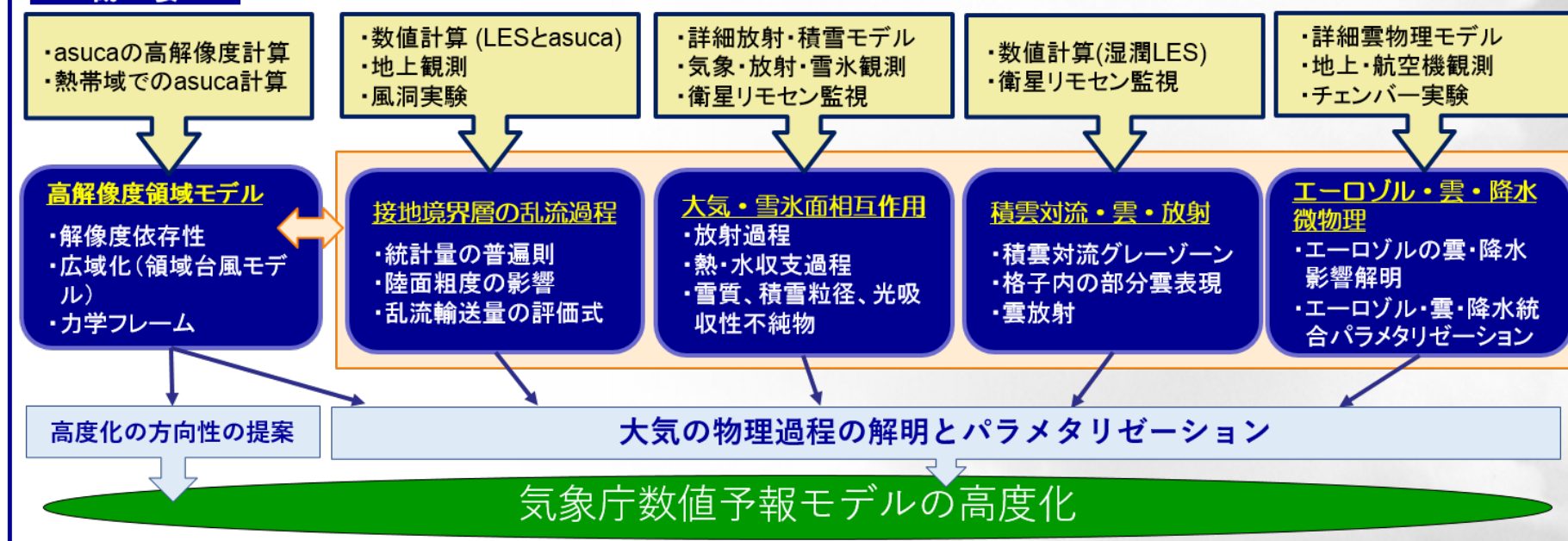
➢ 降水過程に直結した物理過程(積雲対流、微物理)の改善。

目的

→ これらを踏まえて気象庁数値予報モデルに関する研究

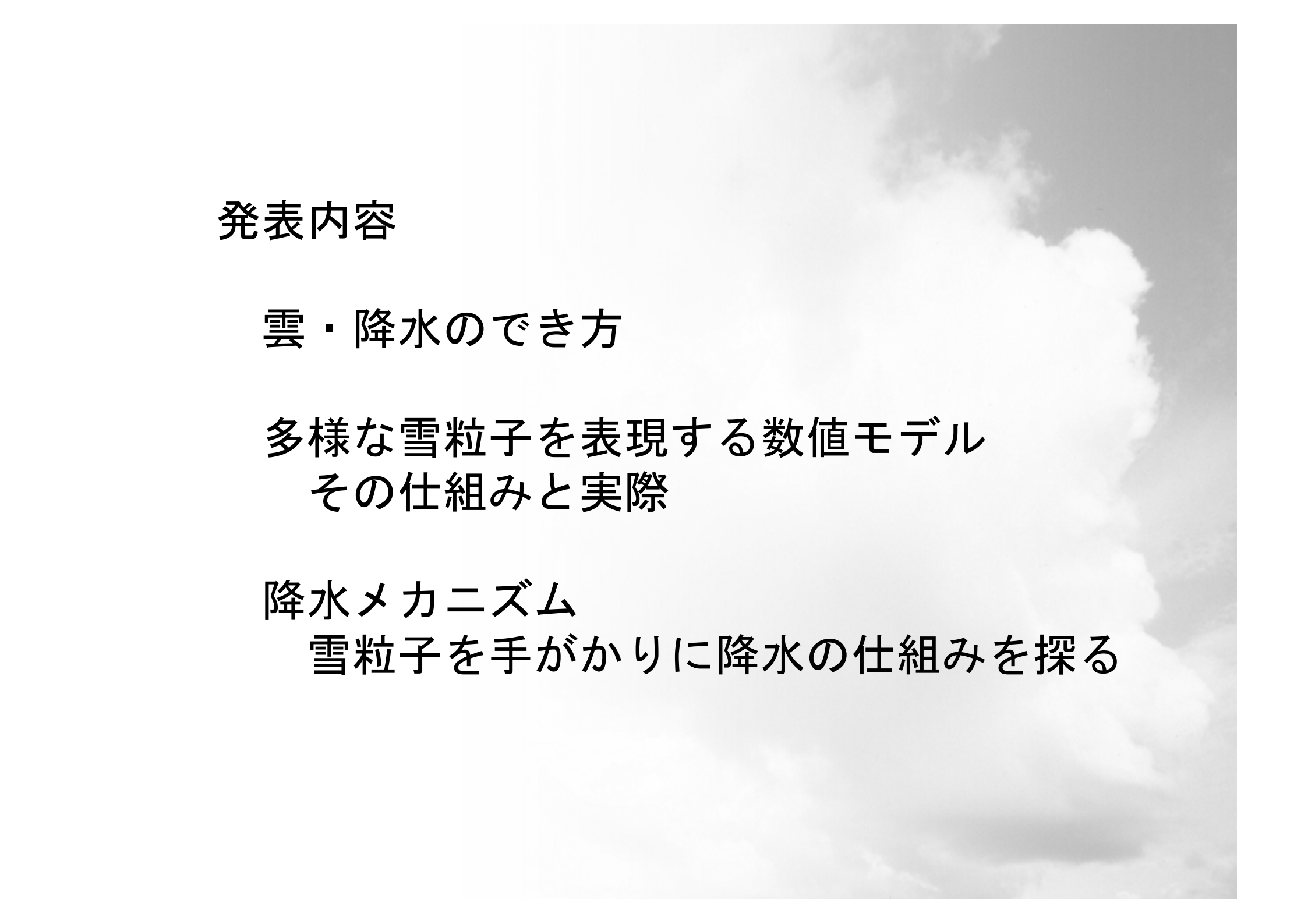
- 高解像度化の評価と、台風予報の改善を念頭に置いた広域運用の評価
- モデル高解像度化に向けたグレーゾーン問題の克服(積雲対流・地上気象要素(今夏の猛暑等)を適切に予測するための接地境界層過程
- 降水過程に直結した物理過程(積雲対流、微物理)の改善。あわせて、昨年の雪崩事故等もふまえて大気-雪氷面相互作用にも取り組む

概要



期待される成果

集中豪雨、台風の予測、季節予報、地球温暖化予測に用いられる数値予報モデルの予測精度向上



発表内容

雲・降水のでき方

多様な雪粒子を表現する数値モデル
その仕組みと実際

降水メカニズム

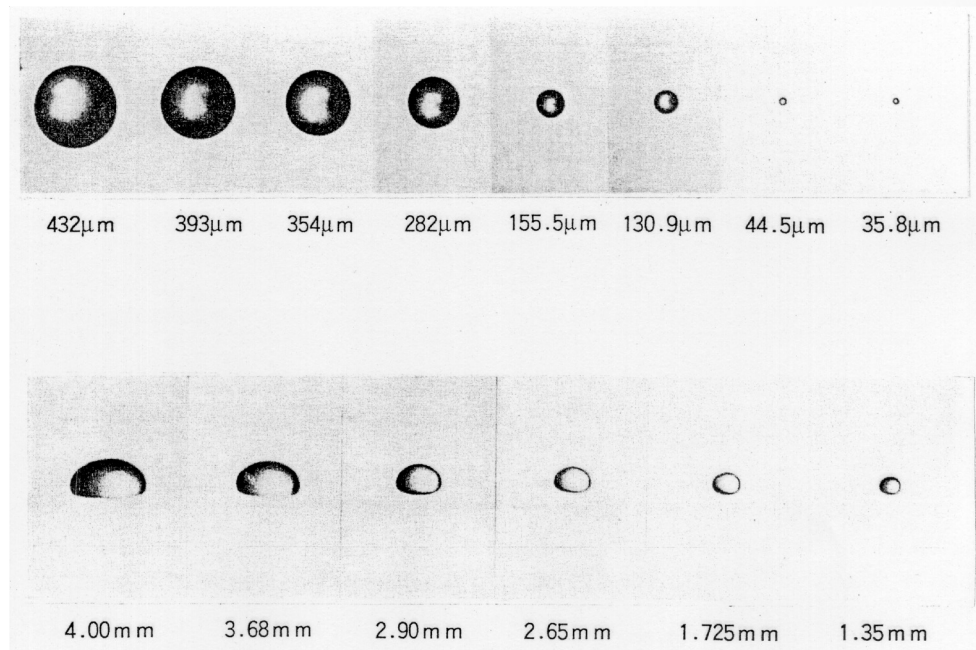
雪粒子を手がかりに降水の仕組みを探る

雲・降水

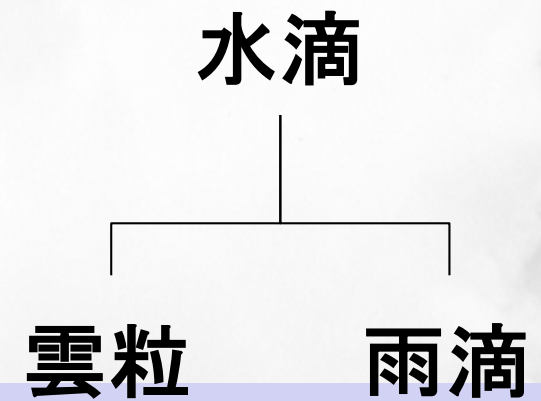
粒子の集合

水滴・氷粒子





Pruppacher, H. and Beard, K. V.: A wind tunnel investigation of the internal circulation and shape of water drops falling at terminal velocity in air. Q. J. Roy. Meteorol. Soc., 96, 247–256, 1970.



氷粒子

その多様さ

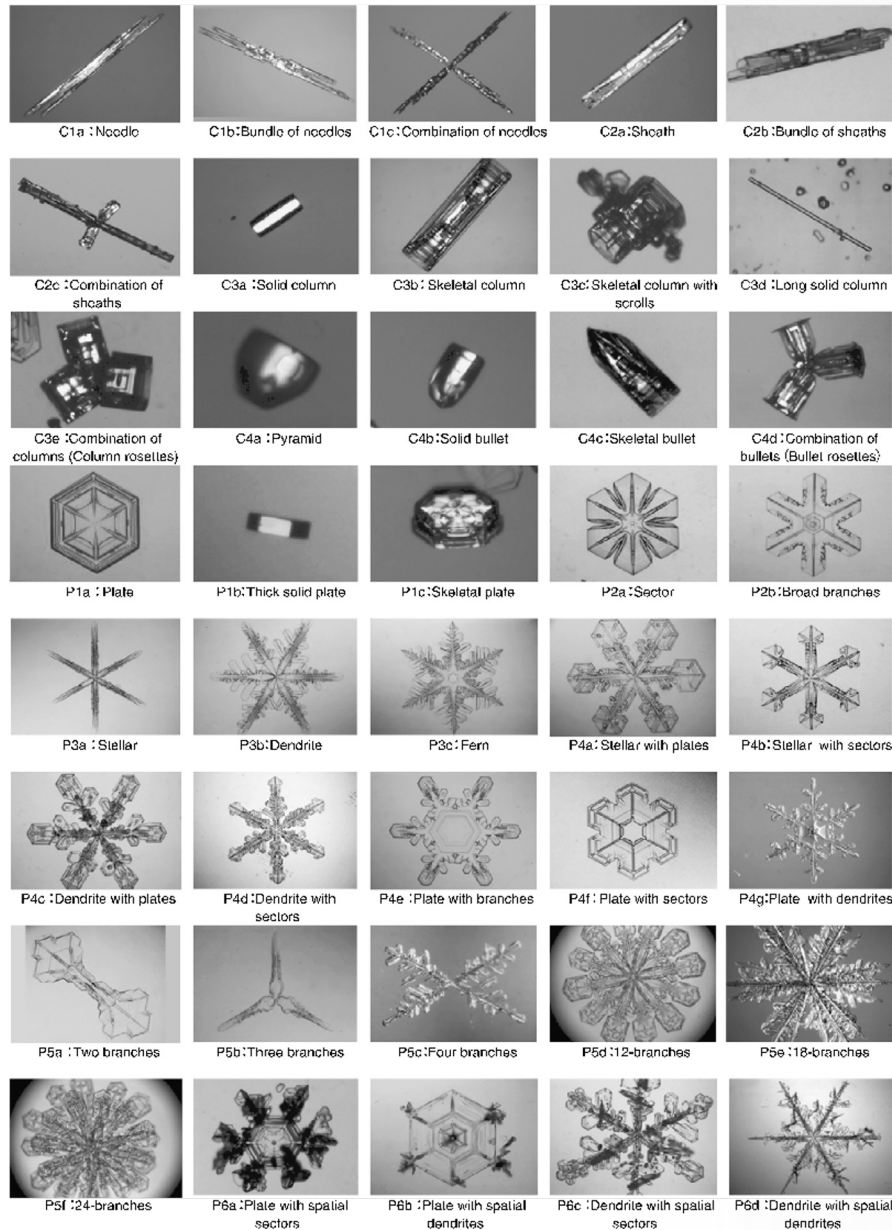
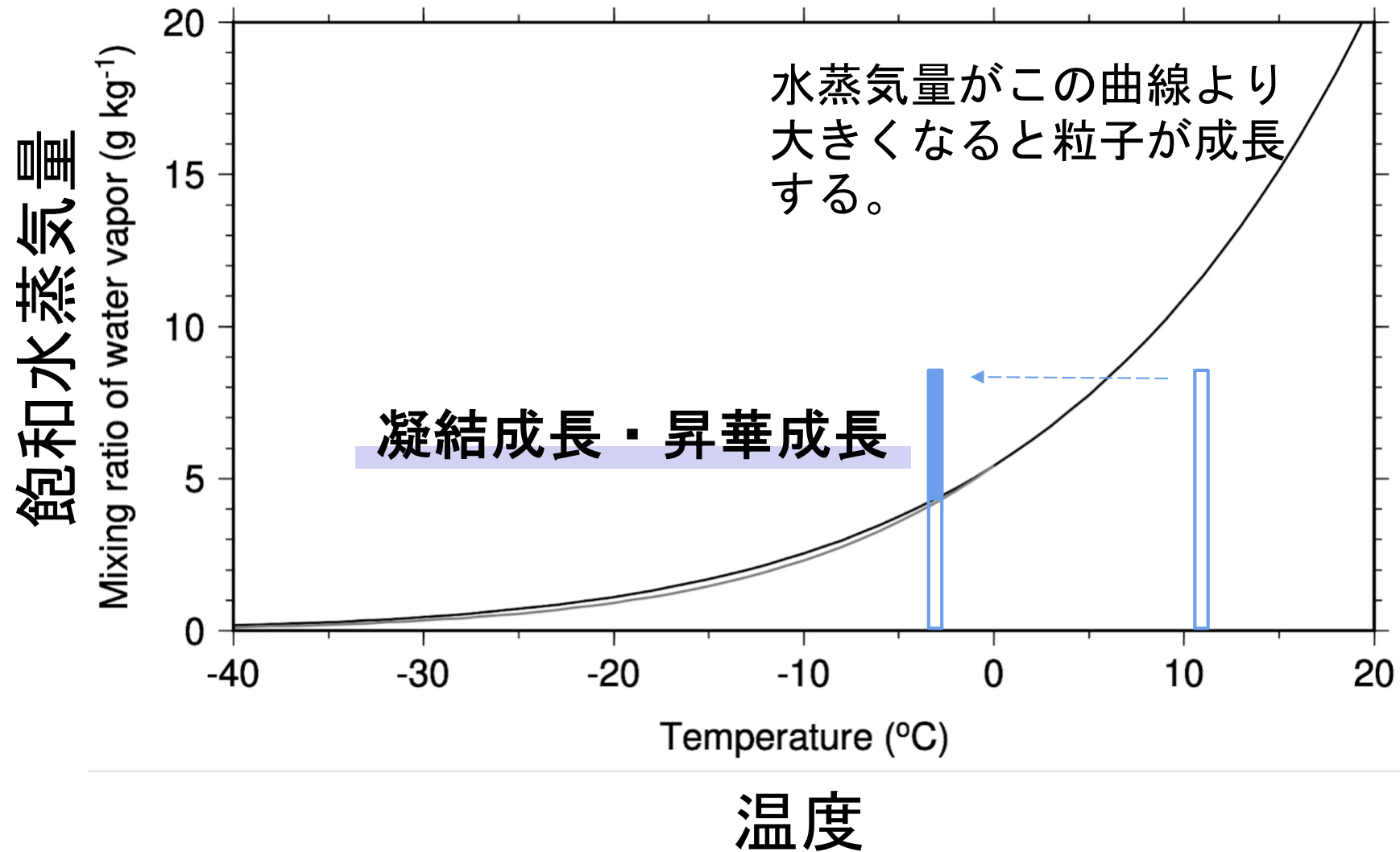


Fig. 1. 1-1. Microscopic photographs of snow crystals from C1a to P6d. 1-2. Microscopic photographs of snow crystals from P7a to P8d. 1-3. Microscopic photographs of snow crystals, ice crystals, and other solid precipitation from C9a to I13a. I14a is a photograph of hailstones.

Kikuchi, K., T. Kameda, K. Higuchi, A. Yamashita, WG members for new classification of snow crystals, 2013: A global classification of snow crystals, ice crystals, and solid precipitation based on observations from middle latitudes to polar regions. *Atmos. Res.*, **132-133**, 460-472.

熱力学的因子による粒子の成長



温度・湿度条件に応じた氷粒子の成長

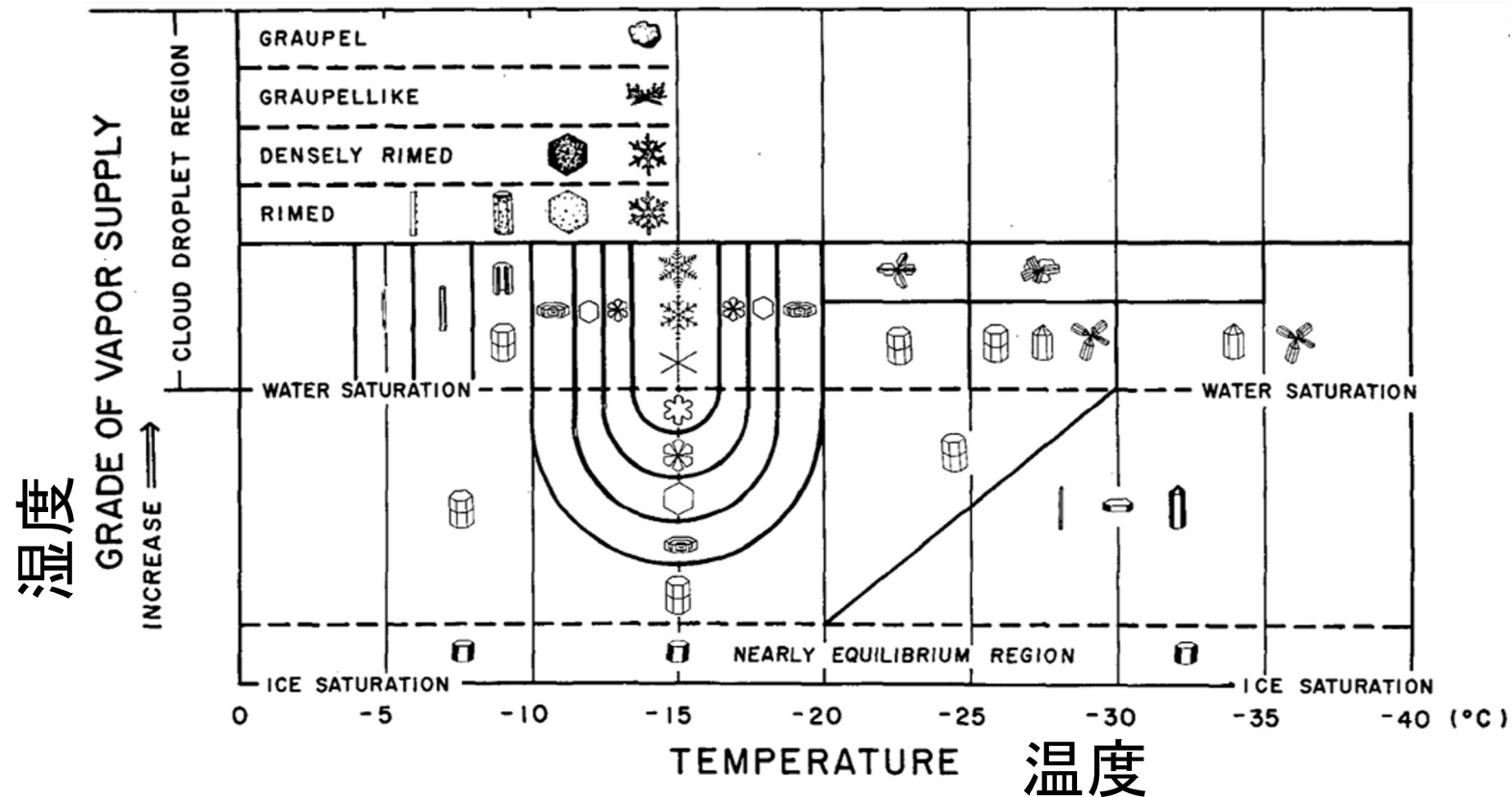
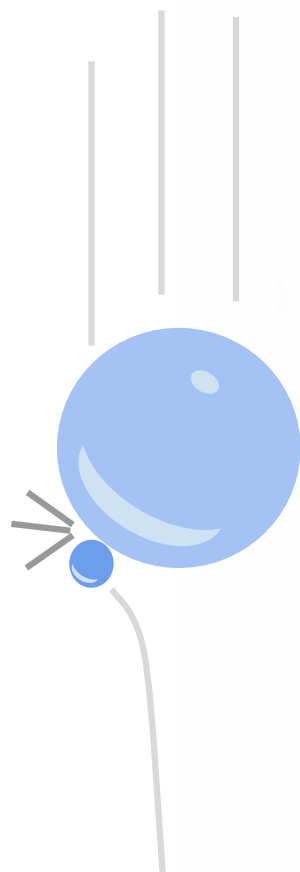


Fig. 2. Temperature and humidity conditions for the growth of natural snow crystals of various types

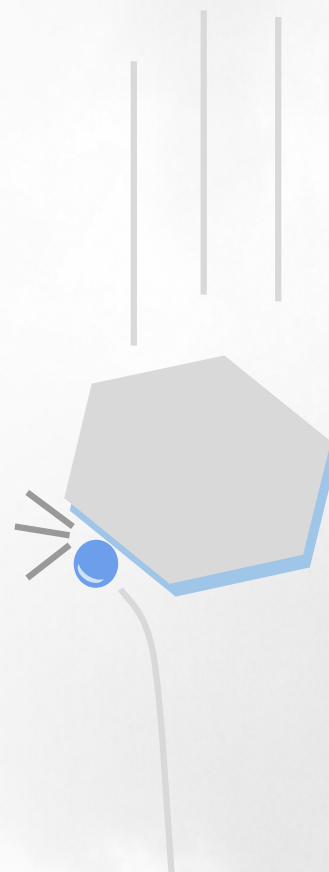
Magono, C. and C. W. Lee, 1966: Meteorological Classification of Natural Snow Crystals. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 7, Geophysics, 2(4), 321-335

機械的因子による粒子の成長

水滴同士が
衝突する

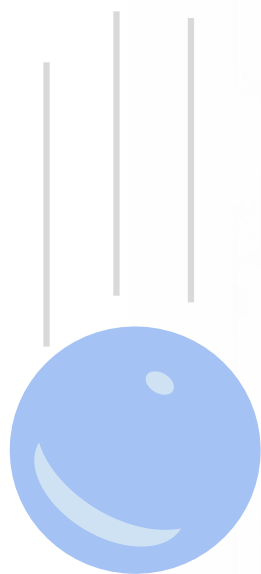


氷粒子と水
滴が衝突す
る

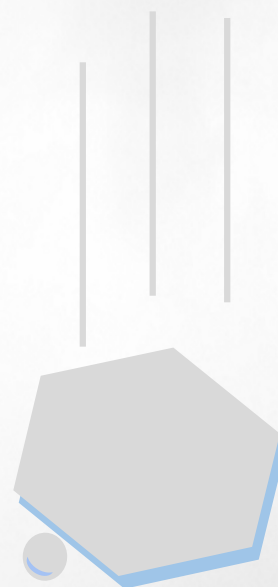


機械的因子による粒子の成長

一体化する



水滴の衝突併合成長



水滴が凍る

氷粒子の雲粒捕捉成長

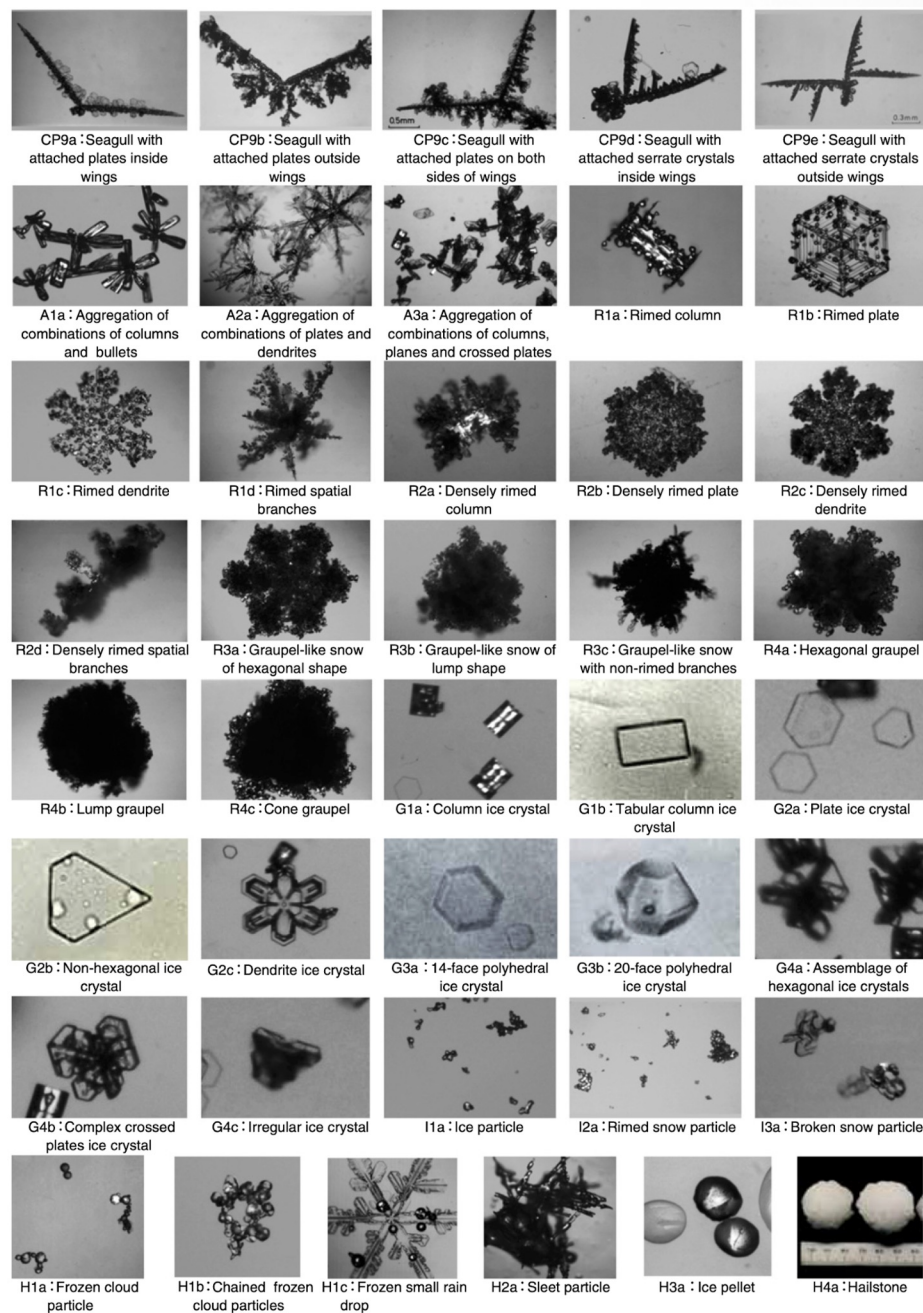


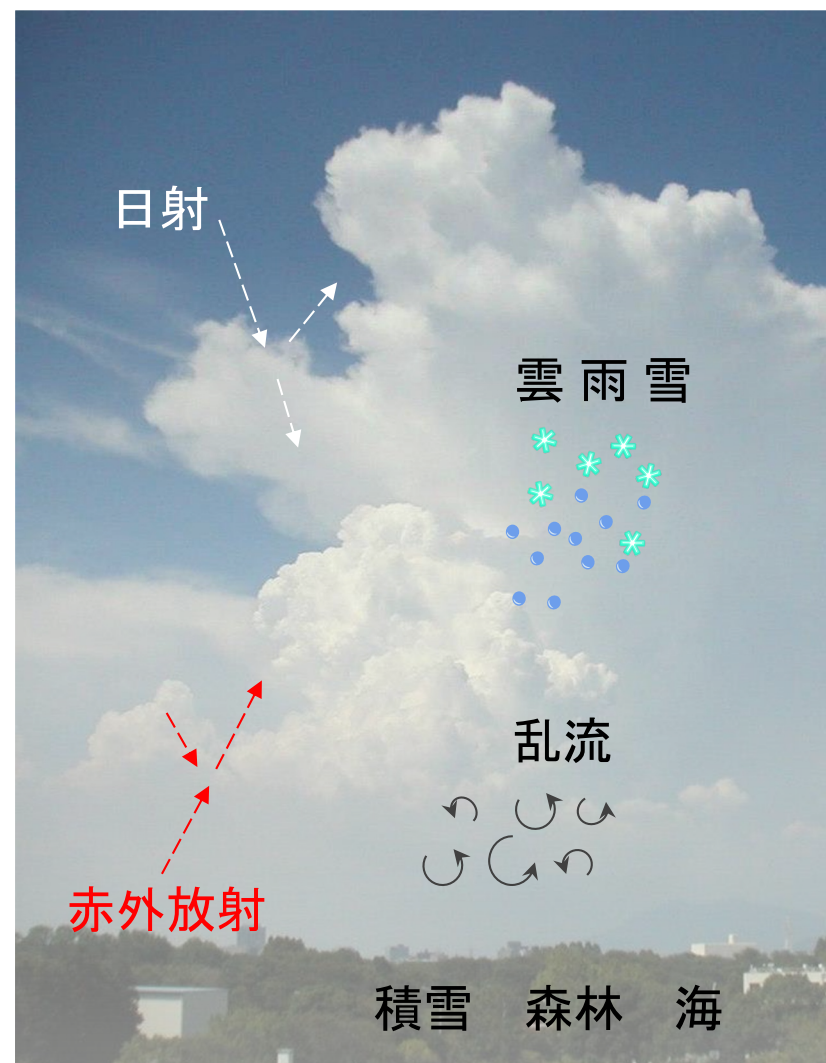
Fig. 1 (continued).

雲粒捕捉成長の痕跡

Kikuchi, K., T. Kameda, K. Higuchi, A. Yamashita, WG members for new classification of snow crystals, 2013: A global classification of snow crystals, ice crystals, and solid precipitation based on observations from middle latitudes to polar regions. *Atmos. Res.*, **132-133**, 460-472.

数値モデル

大気の流れや雲・雨・雪を
物理学の法則をもとに計算する



大気を加速/減速, 加熱/冷却, 加湿/除湿

モデル開発

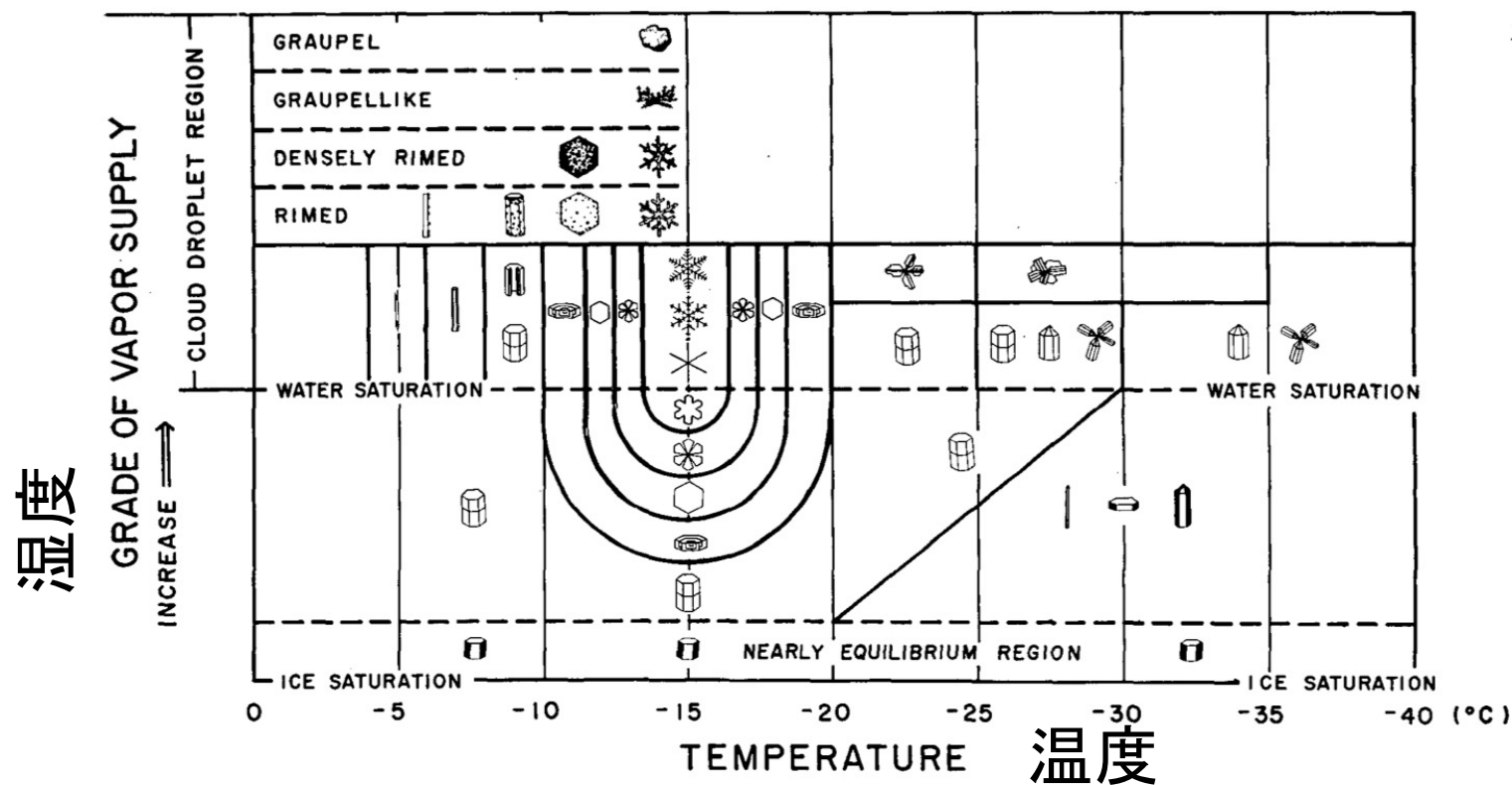


Fig. 2. Temperature and humidity conditions for the growth of natural snow crystals of various types

Magono, C. and C. W. Lee, 1966: Meteorological Classification of Natural Snow Crystals.
Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 7, Geophysics, 2(4), 321-335

従来のモデルの雪粒子

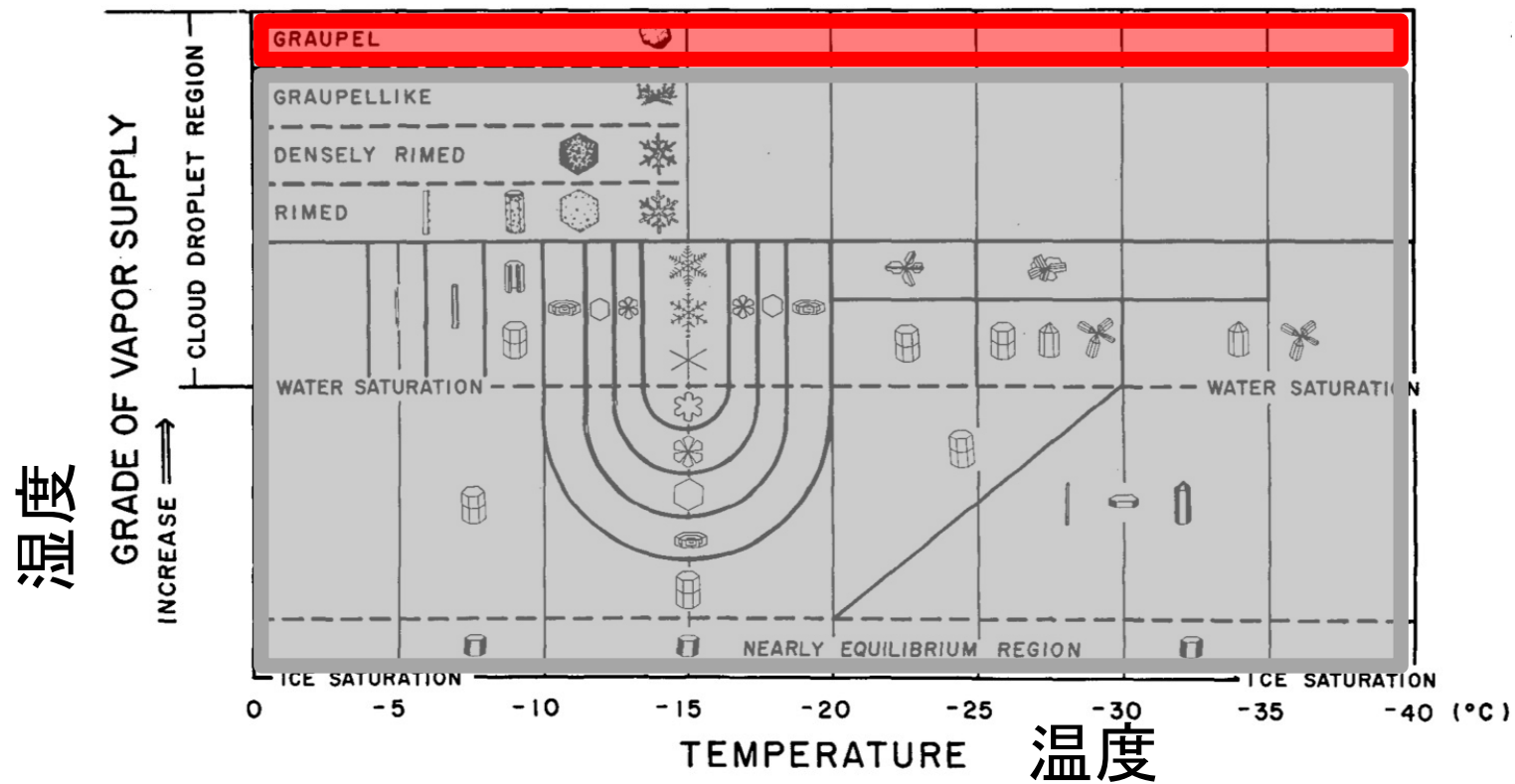


Fig. 2. Temperature and humidity conditions for the growth of natural snow crystals of various types

Magono, C. and C. W. Lee, 1966: Meteorological Classification of Natural Snow Crystals.
Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 7, Geophysics, 2(4), 321-335

※ 新しいモデルの雪粒子

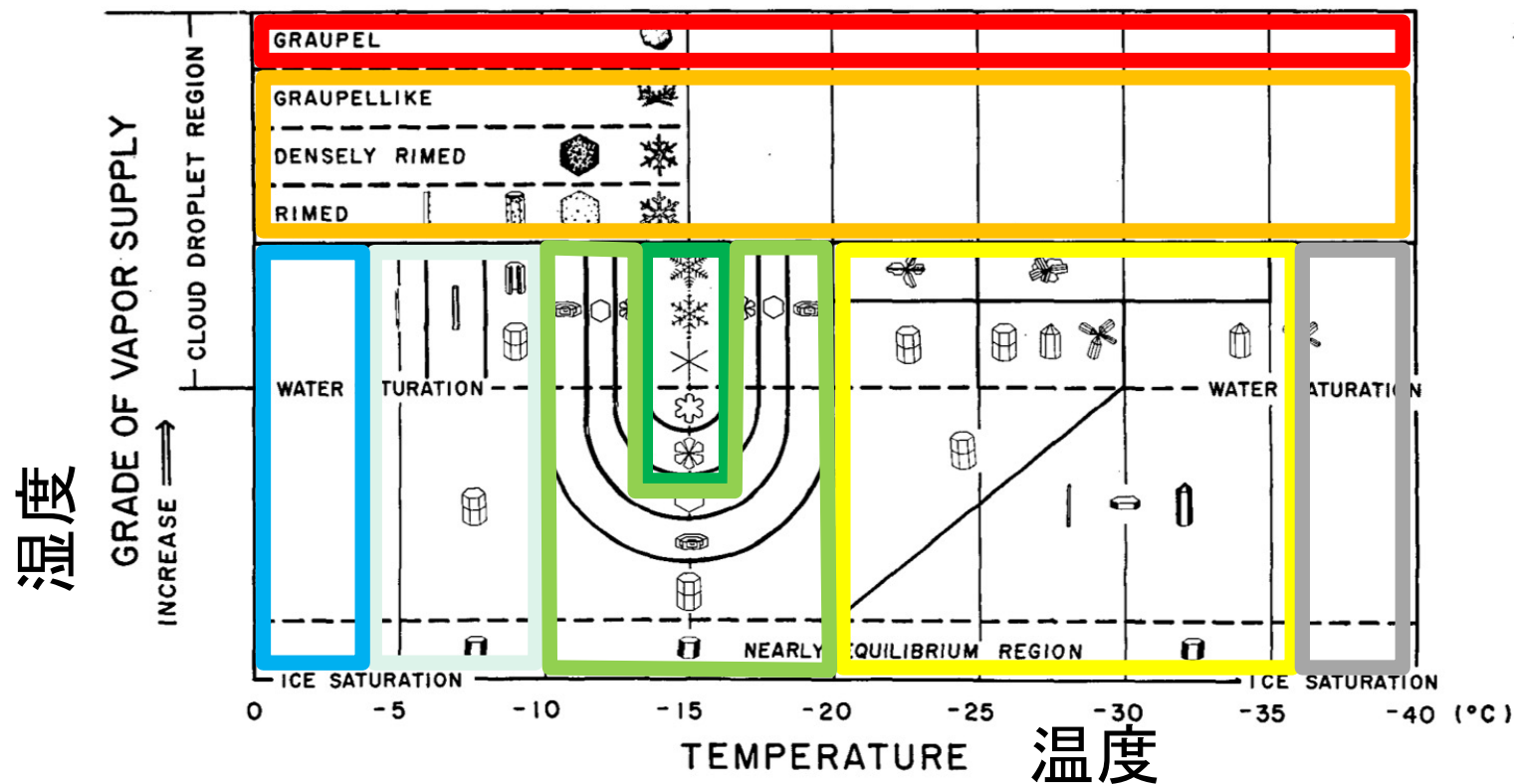


Fig. 2. Temperature and humidity conditions for the growth of natural snow crystals of various types

Magono, C. and C. W. Lee, 1966: Meteorological Classification of Natural Snow Crystals. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 7, Geophysics, 2(4), 321-335

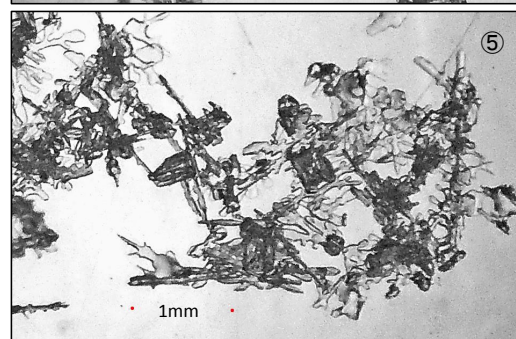
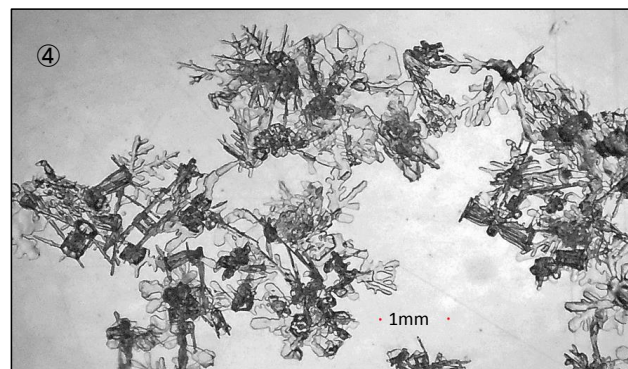
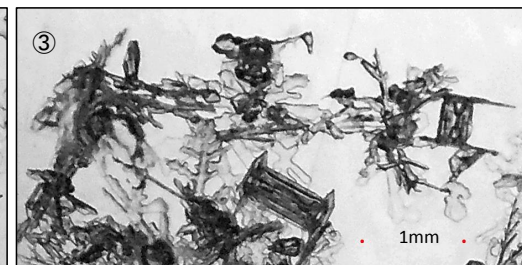
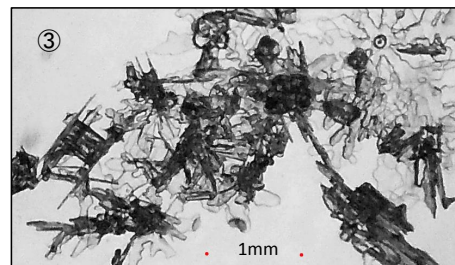
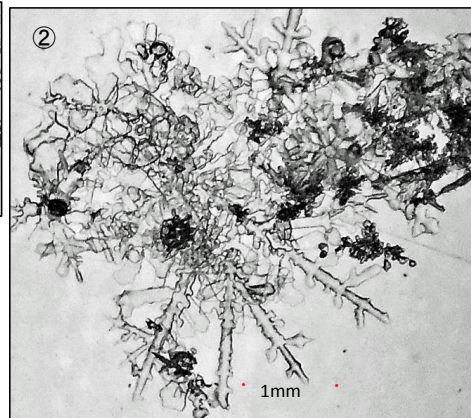
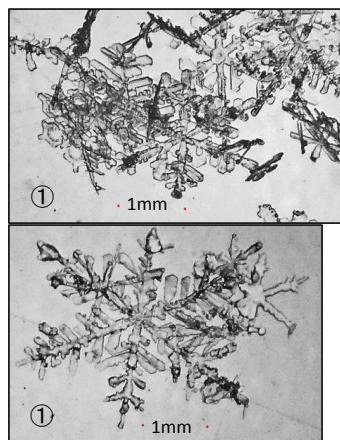
※ 素過程追跡モデル

Hashimoto et al., 2020: Process-Tracking Scheme Based on Bulk Microphysics to Diagnose the Features of Snow Particles. *SOLA*, **16**, 51-56, [doi:10.2151/sola.2020-009](https://doi.org/10.2151/sola.2020-009).

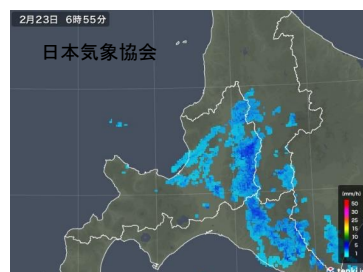
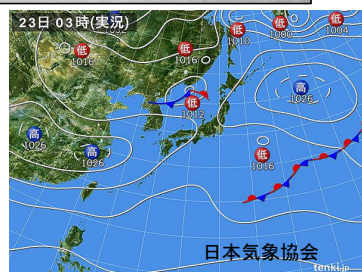


実際の降雪事例をモデルで再現する その1

2018年2月23日早朝, 札幌



2018/2/23 8:30から撮影
明け方から降雪、約17cm積もる。7時頃から家の前除雪、軽い雪、雲粒なし結晶目立つ。
朝食後、撮影開始(8:30~)。
気温は若干プラス。撮影の車庫内は+1.5℃。撮影中のサンプルの融解が速い。数秒内に撮影。薄い透明シートに載せて。新雪で質量が小さいので、融解が速い。大粒の雪なら+3℃でもOK。
天気図と雪雲を見ると、低気圧前面の降雪。降雪の前半は「鼓」が多く(③、④、⑤)、後半は樹枝が多い(①、②)。
今回の降雪はニセコ方面では降っていない模様。



時刻 時	気温 ℃	降水量 mm	風向 16方位	風速 m/s	日照時間 h	積雪深 cm
1	-4.1	0.0	南東	2.4		106
2	-3.5	0.0	北北東	1.3		105
3	-3.4	0.5	北北東	0.9		106
4	-3.1	1.5	東北東	1.2	0.0	108
5	-2.8	1.5	北	0.3	0.0	110
6	-3.0	0.5	東南東	0.8	0.0	111
7	-2.9	0.0	南東	1.1	0.0	111

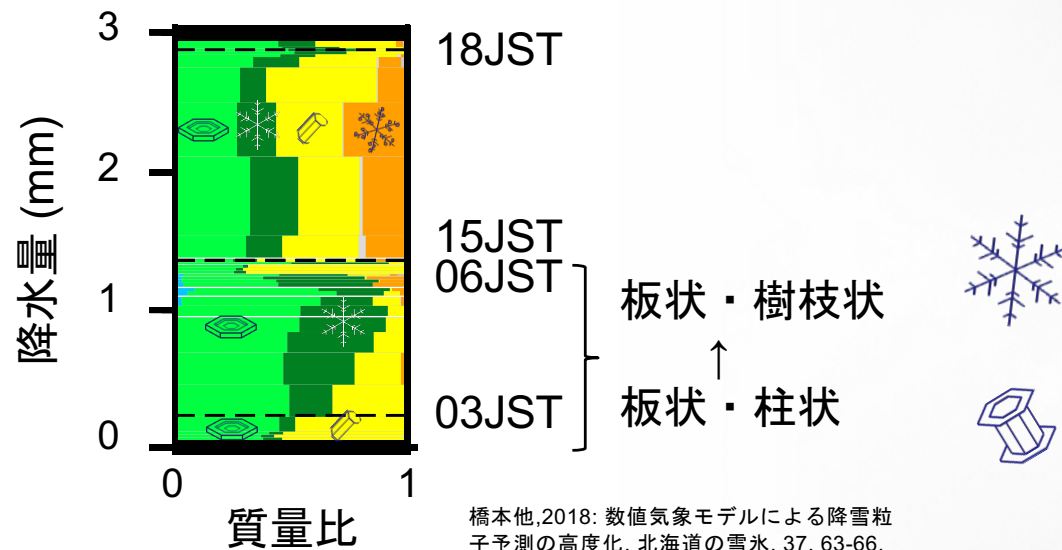
石狩アメダスデータ

新雪の深さ: 約15cm

- ①: 表面
- ②: 表面から5cm下
- ③: 8cm下
- ④: 11cm下
- ⑤: 15cm下

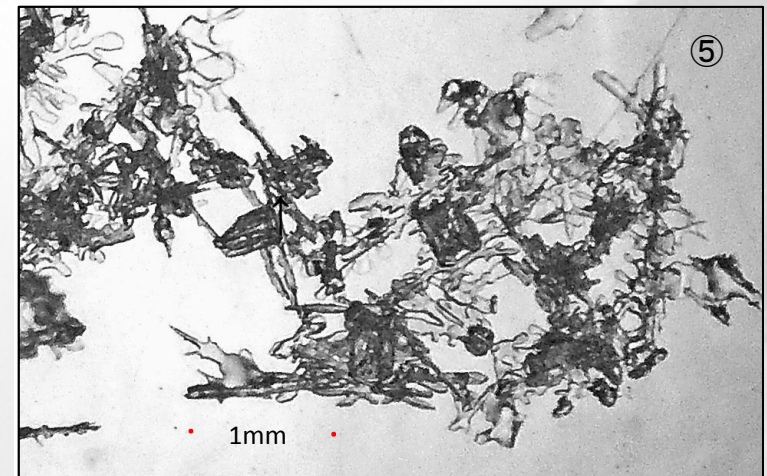
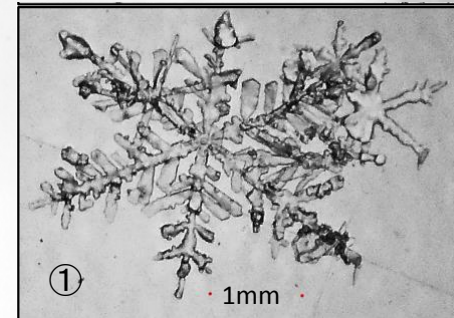
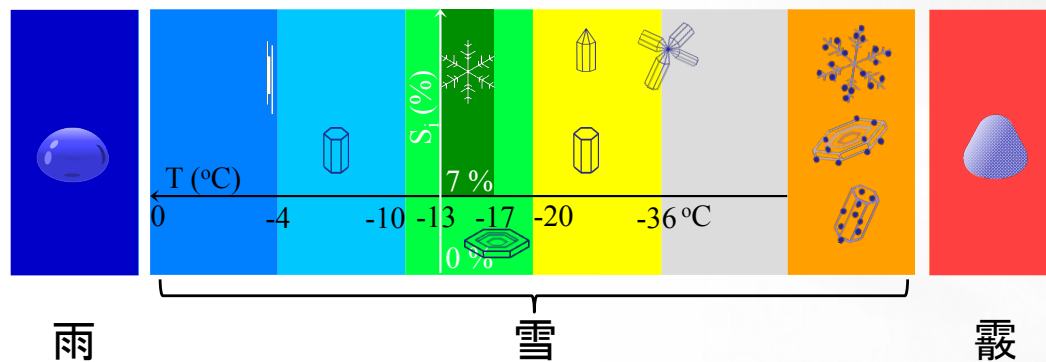
計算結果

2018年2月23日



橋本他,2018: 数値気象モデルによる降雪粒子予測の高度化, 北海道の雪氷, 37, 63-66,
https://www.seppyo.org/hokkaido/journal/j37/15_2018_snowhokkaido37_Hashimoto.pdf

雪粒子の形状変化を再現できている



実際の降雪事例をモデルで再現する その2

2017年3月27日
降雪粒子が弱層形成に
関与した可能性

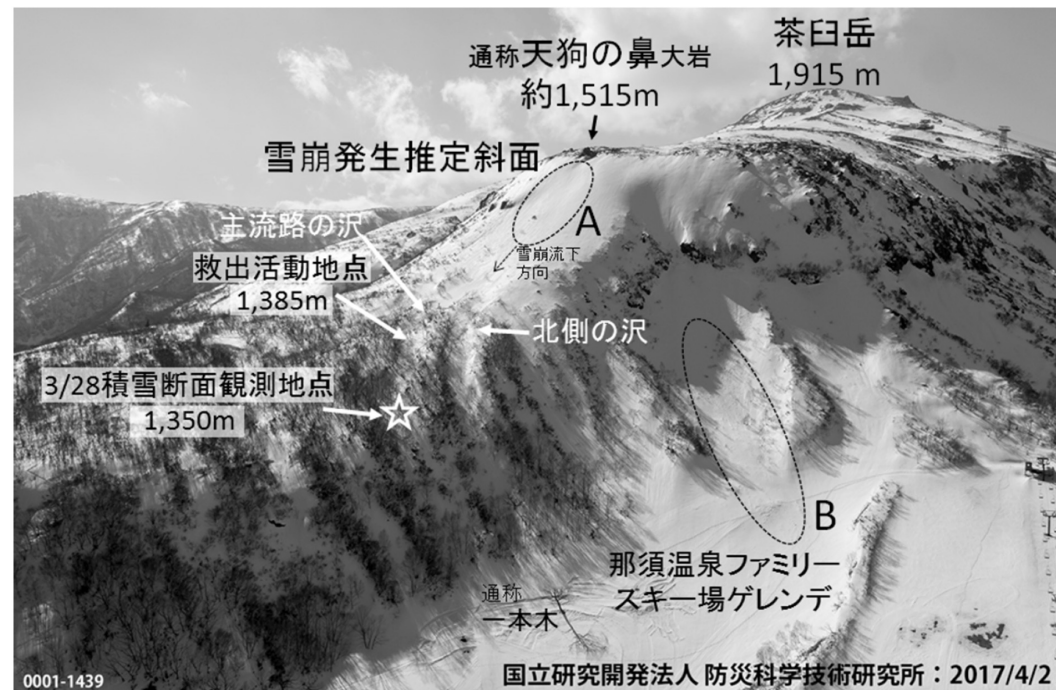
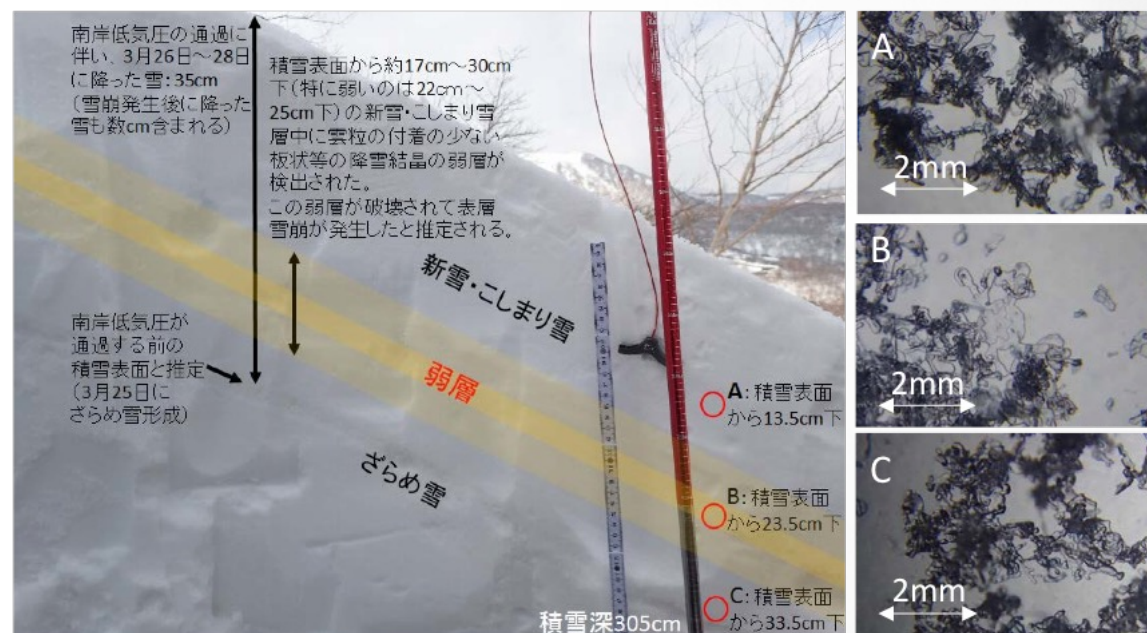


図-2 那須岳雪崩発生地全景 (2017年4月2日防災科学技術研究所無人航空機撮影,
☆：3/28 積雪断面観測地点, A：3/27 事故雪崩発生推定斜面,
B：3/28 に別の雪崩の痕跡を発見した斜面)

中村ほか, 2018: 那須雪崩災害の現地調査, 平成 29 年度科学研究費補助金(特別研究促進費)「2017年3月27日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究」研究成果報告, 1-20, https://www.bosai.go.jp/seppyo/research/nasu_report.html.

雪崩地点の降雪粒子と新雪粒子層位



雲粒捕捉成長した粒子

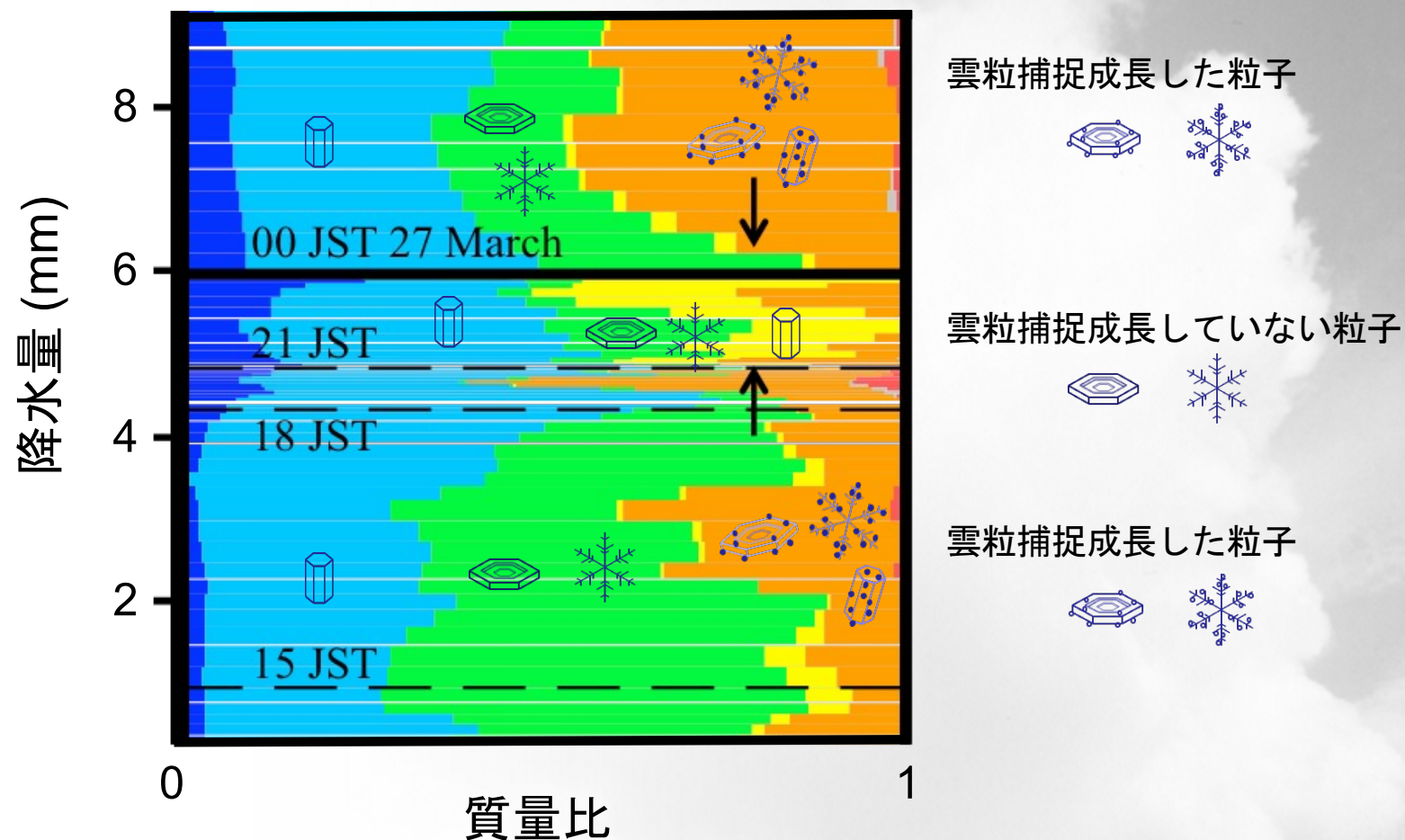
雲粒捕捉成長していない粒子

雲粒捕捉成長した粒子

図8 積雪断面中の弱層の位置と雪結晶の写真

中村ほか, 2017: 那須町雪崩災害調査報告 第1回調査 (2017.3.28) ,
https://www.bosai.go.jp/seppyo/research/nor3uc00000007oq-att/report_20170328_NasuOnsen.pdf

雪崩地点の降雪粒子と新雪粒子層位 計算結果



橋本ほか, 2018:降雪による弱層形成に関する数値気象モデルを用いた再現実験, 平成 29 年度科学研究費補助金 (特別研究促進費)「2017年3月27日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究」研究成果報告, 64-69, https://www.bosai.go.jp/seppyo/research/o6cq970000000qe3-att/NasuKakenReport_chapter3-5.pdf

雲粒捕捉成長の度合いを再現できている

降水メカニズム解明

観測とモデルを駆使して



降水粒子撮像ゾンデ Rainscope 明星電気

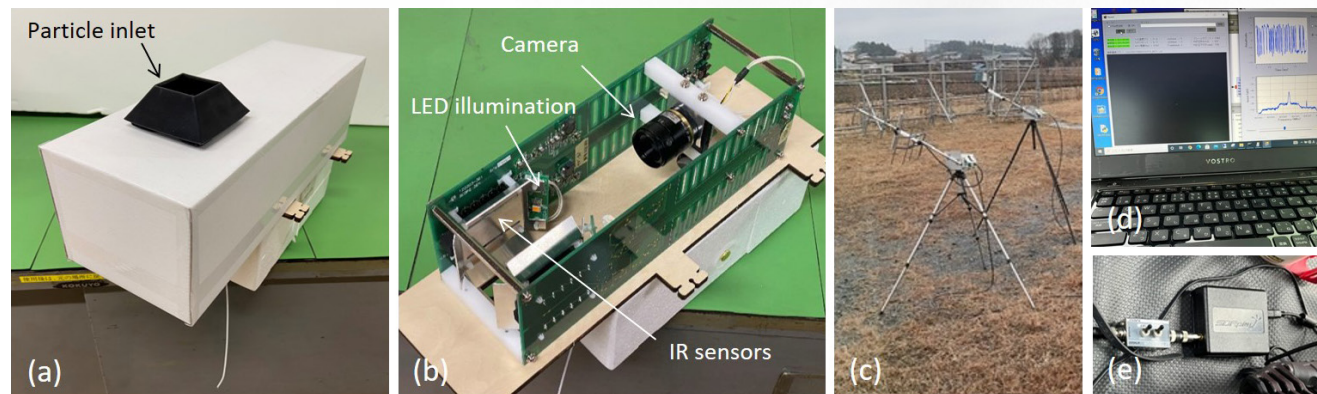
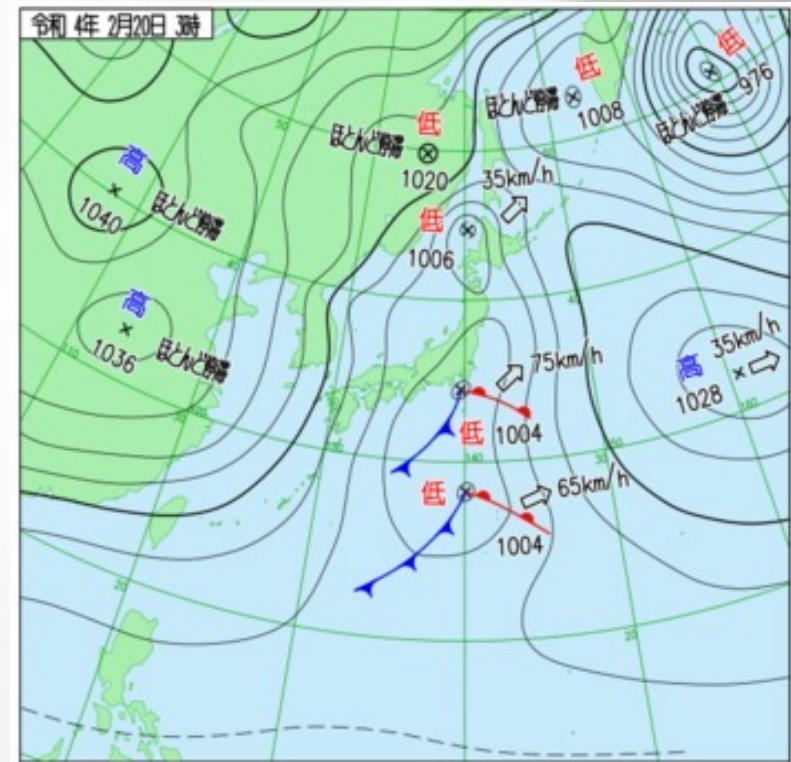
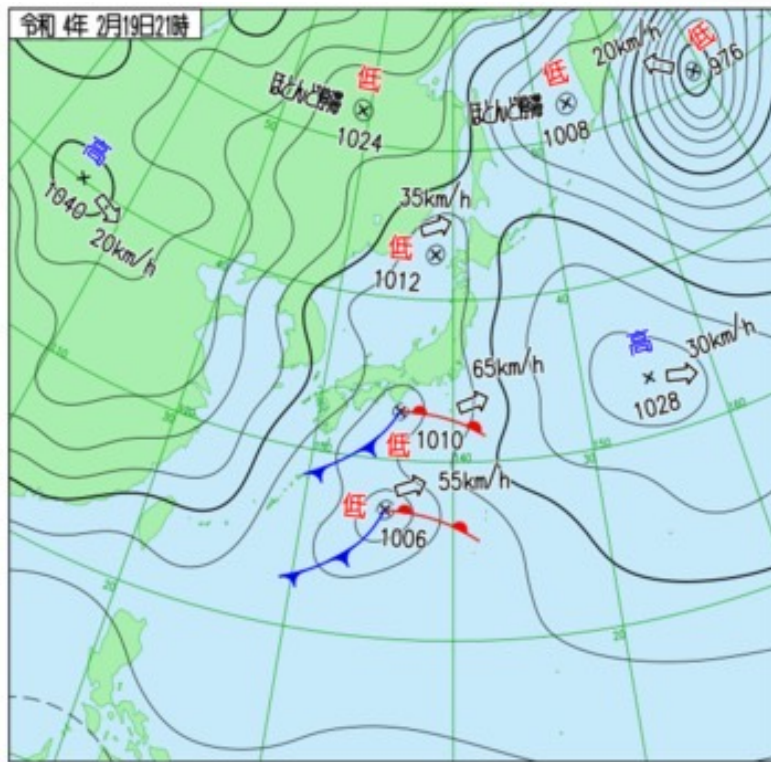


Fig. 1. (a) Exterior of Rainscope. (b) Interior of Rainscope, equipped with a camera, LEDs, and two infrared sensors. (c) 400-MHz band Yagi antenna for GPS radiosonde and Rainscope. (d) Image display on a PC. (e) Compact receiver.

Suzuki et al., 2023: Development of a New Particle Imaging Radiosonde with Particle Fall Velocity Measurements in Clouds. SOLA, 19, 261-268, [doi:10.2151/sola.2023-034](https://doi.org/10.2151/sola.2023-034) .

2022年2月20日 Rainscope 試験観測事例

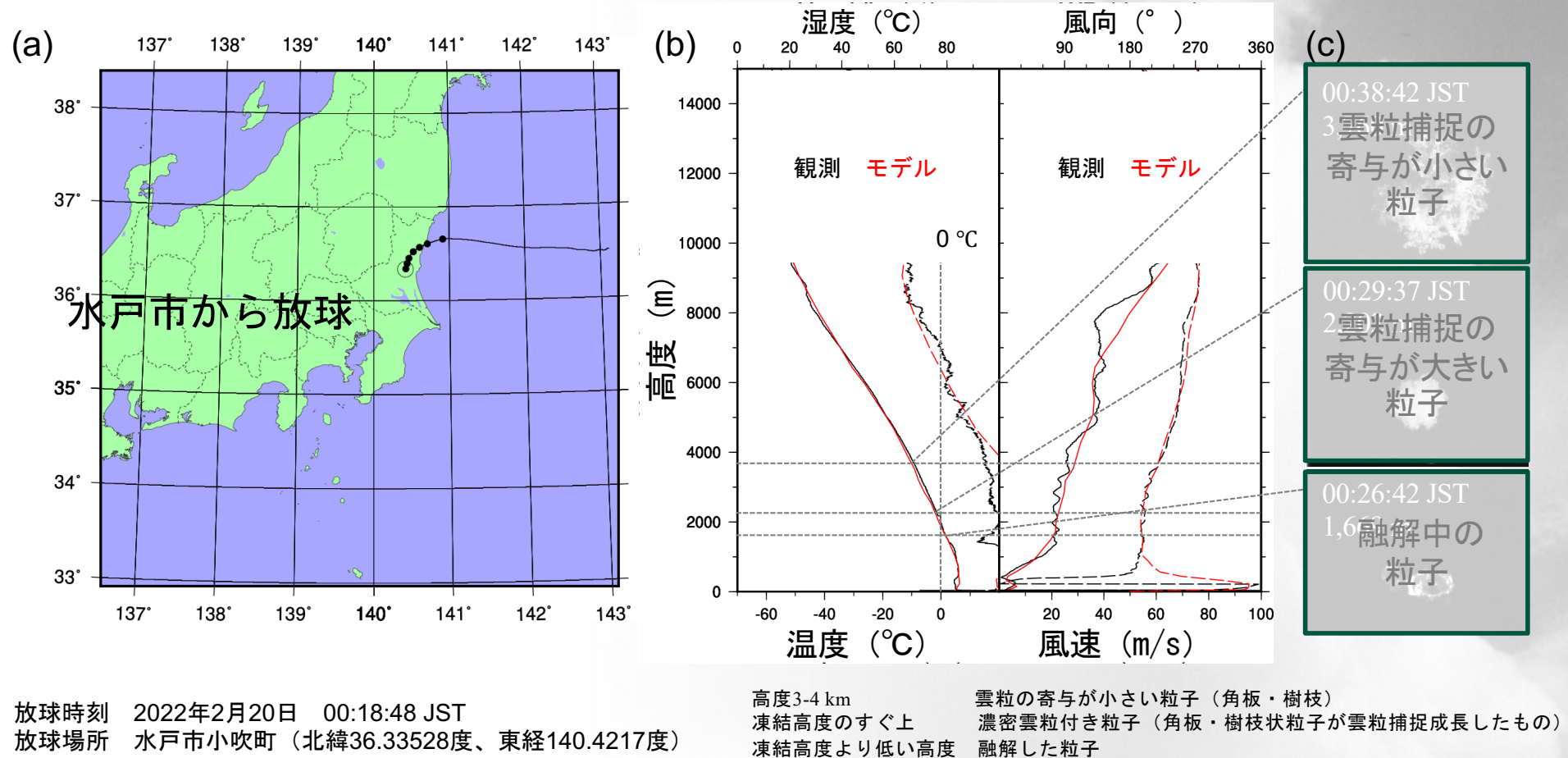


放球時刻 2022年2月20日 00:18:48 JST
放球場所 水戸市小吹町 (北緯36.33528度、東経140.4217度)

茨城県沖から房総半島・相模湾にかけて降水域

橋本明弘, 鈴木賢士, 梅原章仁, 2023: Rainscopeゾンデにより観測された降水システムに関する数値実験 事例: 2022年2月20日水戸, 日本地球惑星連合大会, AAS06-P04.

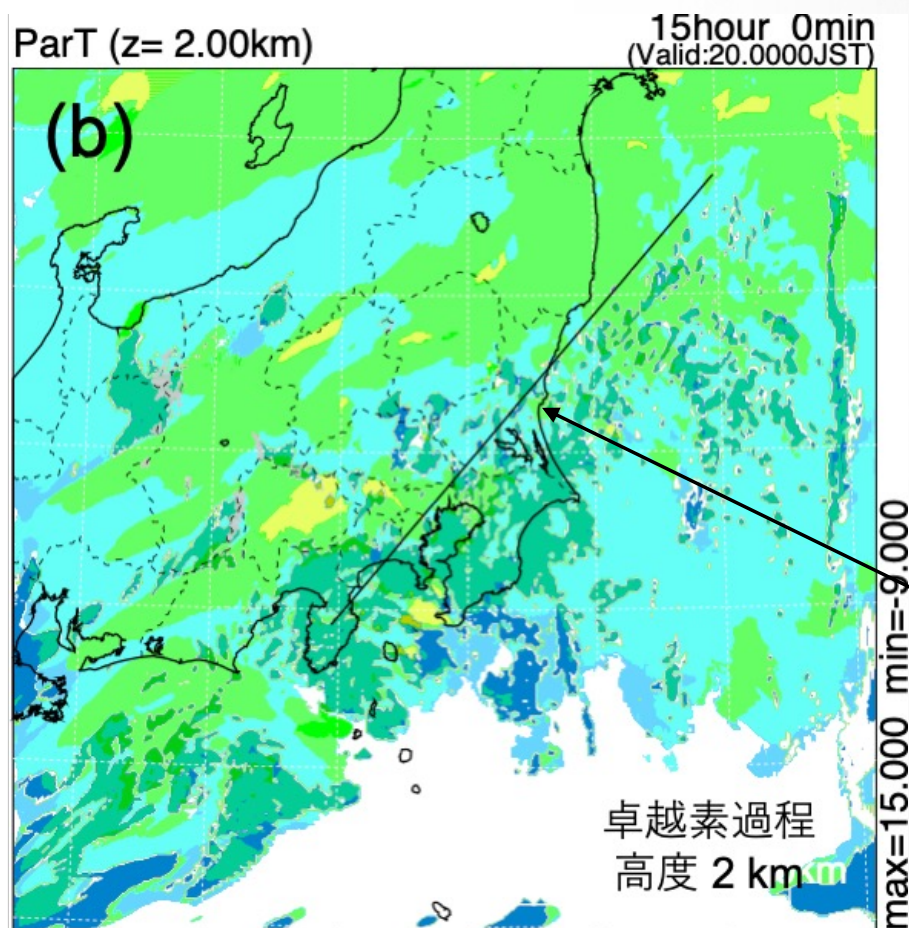
観測された鉛直プロファイルと粒子特性



橋本明弘, 鈴木賢士, 梅原章仁, 2023: Rainscopeゾンデにより観測された降水システムに関する数値実験 事例: 2022年2月20日水戸, 日本地球惑星連合大会, AAS06-P04.

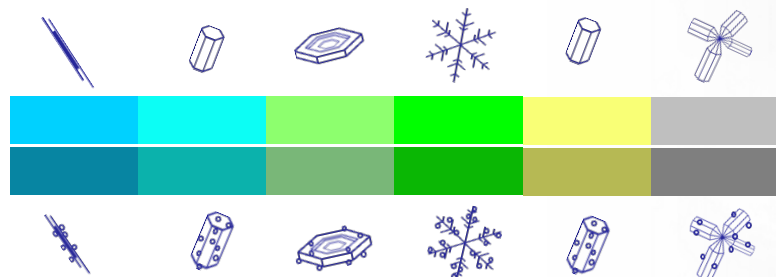
Suzuki et al., 2023: Development of a New Particle Imaging Radiosonde with Particle Fall Velocity Measurements in Clouds. SOLA, 19, 261-268, doi:10.2151/sola.2023-034 .

計算結果



房総半島～相模湾で雲粒捕捉
の寄与が大きい

高度2000m付近

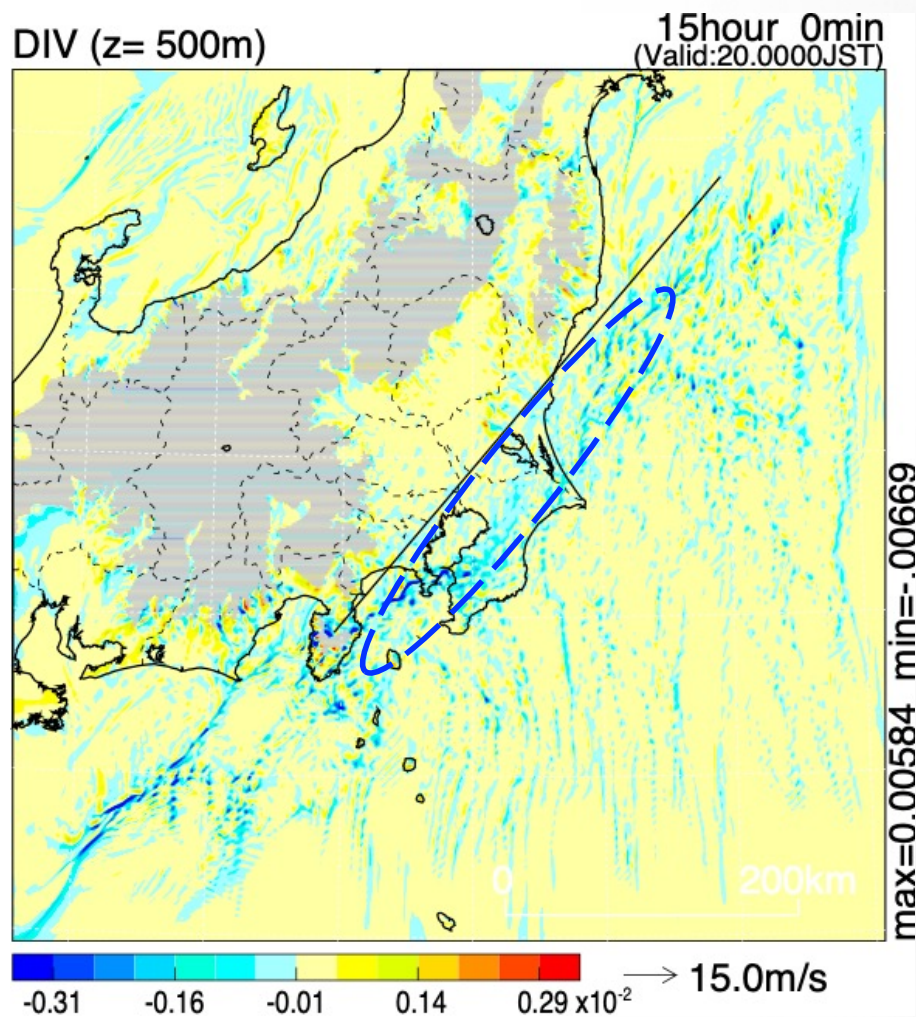


雲粒捕捉成長の寄与が50%以上

雲粒捕捉成長の寄与が50%未満

温度湿度別粒子タイプの中で最も大きい寄与を占めるタイプ

橋本明弘, 鈴木賢士, 梅原章仁, 2023: Rainscopeゾンデにより観測された降水システムに関する数値実験 事例: 2022年2月20日水戸, 日本地球惑星連合大会, AAS06-P04.



計算結果

房総半島～相模湾の下層で収束



周囲から空気が集まって持ち上がる

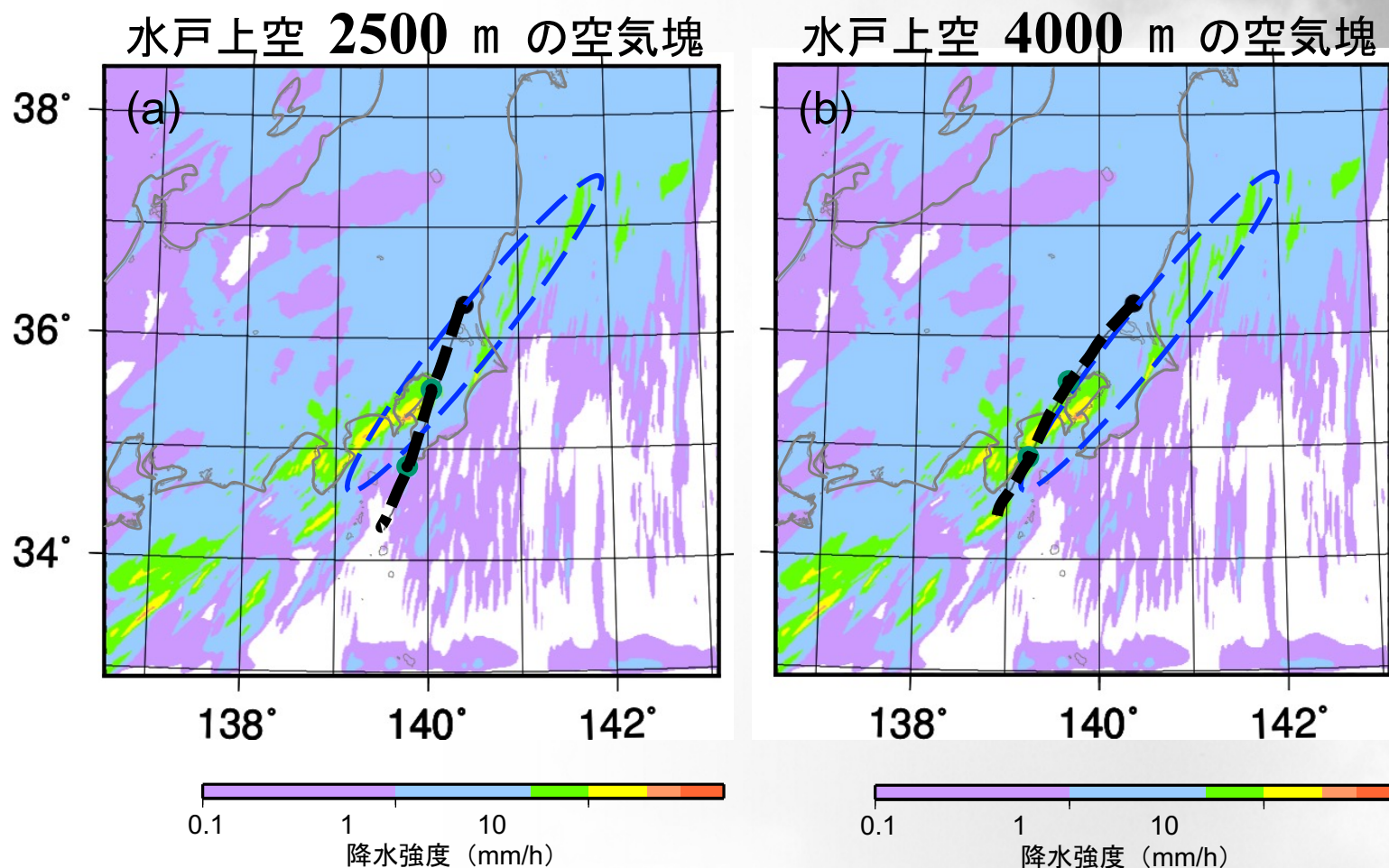


空気が冷やされる



水滴ができる

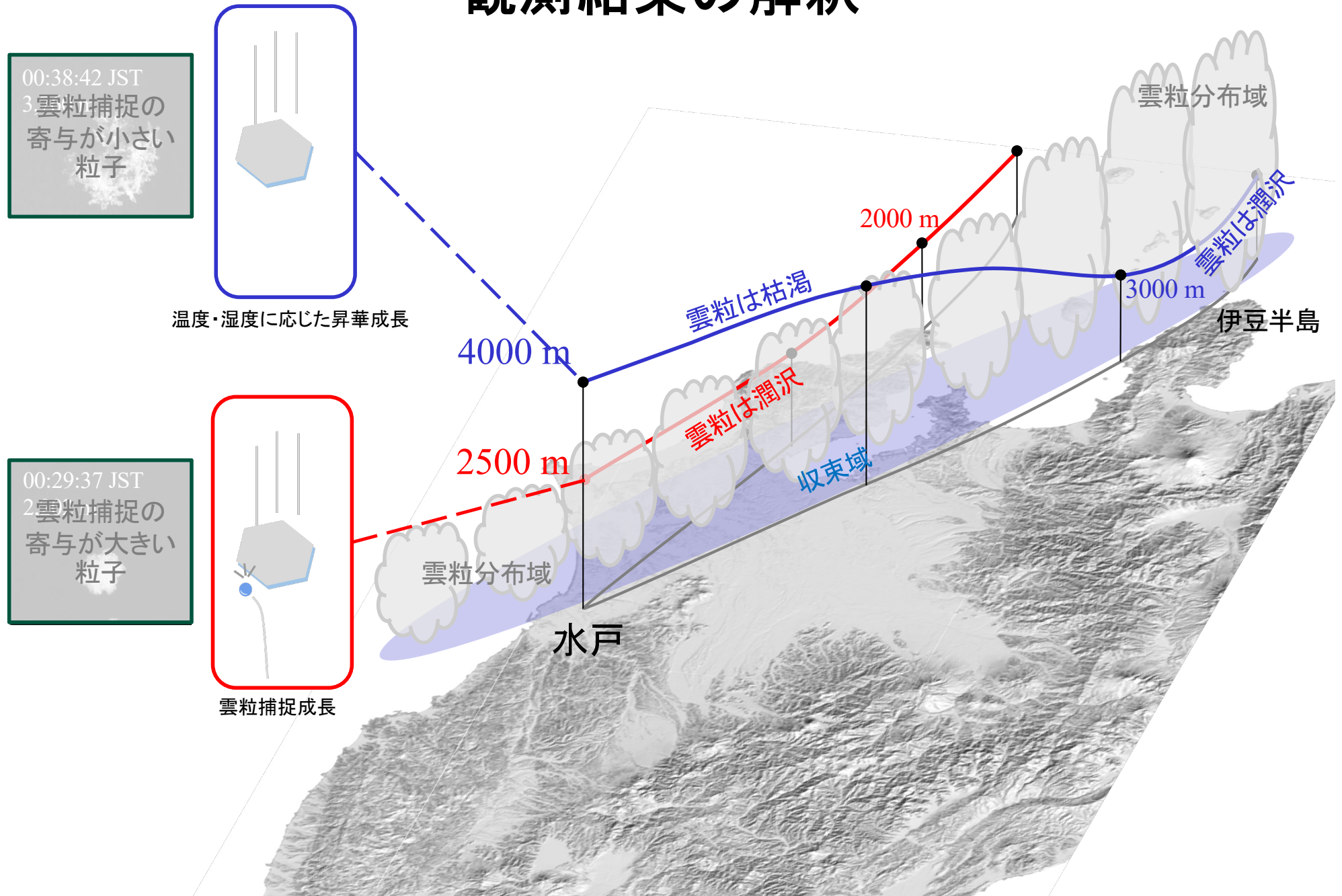
水戸上空の空気はどこから来たか？



収束域を房総～茨城県南部上空で横断

収束域を相模湾上空で横断

観測結果の解釈

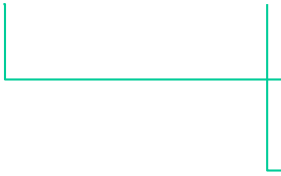


まとめ

多様な雪粒子を再現できる数値モデルを開発

降水粒子の観測と数値モデルを組み合わせた
降水メカニズム解明

観測とモデルの進歩によって可能に



鮮明な粒子画像

多様な雪粒子を再現

今後

数値モデルの開発を進めながら、
地上観測、気球・航空機観測、二重偏波レーダー、衛星リモートセンシング等様々な観測から得られる粒子情報と組み合わせて、
モデル検証・メカニズム解明を進める。

ご清聴ありがとうございました。

