

気候変動リスク情報創生プログラム(単一課題)

領域テーマA:「直面する地球環境変動の予測と診断」

「直面する気候変動に関する要因の特定とメカニズムの解明」サブ課題

気候感度に関する不確実性の低減化に向けた 「雲」の予測精度の向上



- 全球非静力学モデルNICAMを用いて、気候感度の不確実性の最大の要因である雲変化を、物理的に解釈
- 雲微物理スキームに基づいた将来の雲変化予測、不確実性の低減
- 雲微物理スキーム自体の不確実性の低減
- 降水システムの雲特性の評価、その変化

高解像度モデル+雲微物理の高度化により
気候モデルの最大の不確実性要因である
「雲」の予測精度向上を図る

佐藤正樹: 海洋研究開発機構

気候変動リスク情報創生プログラム 平成26年度成果報告会

2015年1月28日 国連大学 ウ・タント国際会議場

今年度の進捗

- 全球非静力学モデルNICAMによる現在気候および将来気候を想定した数値積分を実施。
 - 14km 30年AMIP実験データ、7km/3.5km 1年積分データの解析
Kodama et al. (under revision) CMIP6/HighResMIPへの貢献
 - 標準雲微物理スキーム(シングルモーメントスキームNSW6)・開発したダブルモーメントスキームNDW6による実験(夏季5ヶ月実験)
雲フィードバックの雲微物理依存性: Chen et al. (in prep)
 - 水惑星実験: COOKIEプロジェクト参加 CMIP6/CFMIPへの貢献
- NICAMによる将来の雲・放射・大気擾乱の変化の解析。
 - 熱帯積雲クラスター: 雲サイズ・雲頂高度・光学的厚さの多次元解析、暖かい雨と冷たい雨の解析 Noda et al. (2014,JCLI), Noda et al.(2015,JMSJ)
 - 台風・ストームトラックの雲変化
Kodama et al.(2014,GRL), Yamada and Satoh (2013,JCLI), Satoh et al.(2014,submitted)
- 雲微物理スキームの改良・開発・比較。
 - NDW6の評価・改良: Seiki et al.(2014,JGR), Seiki et al.(2014,JCLI)
 - モデル鉛直層の検討: Seiki et al. (in prep)
 - ビンモデル解析: Kuba et al. (2014,JGR)
- エアロゾル輸送モデル開発
 - 雲解像実験用のエアロゾルモデルNICAM+NDW6+SPRINTARS
- 実験データの解析環境の整備。

Double moment cloud microphysics scheme

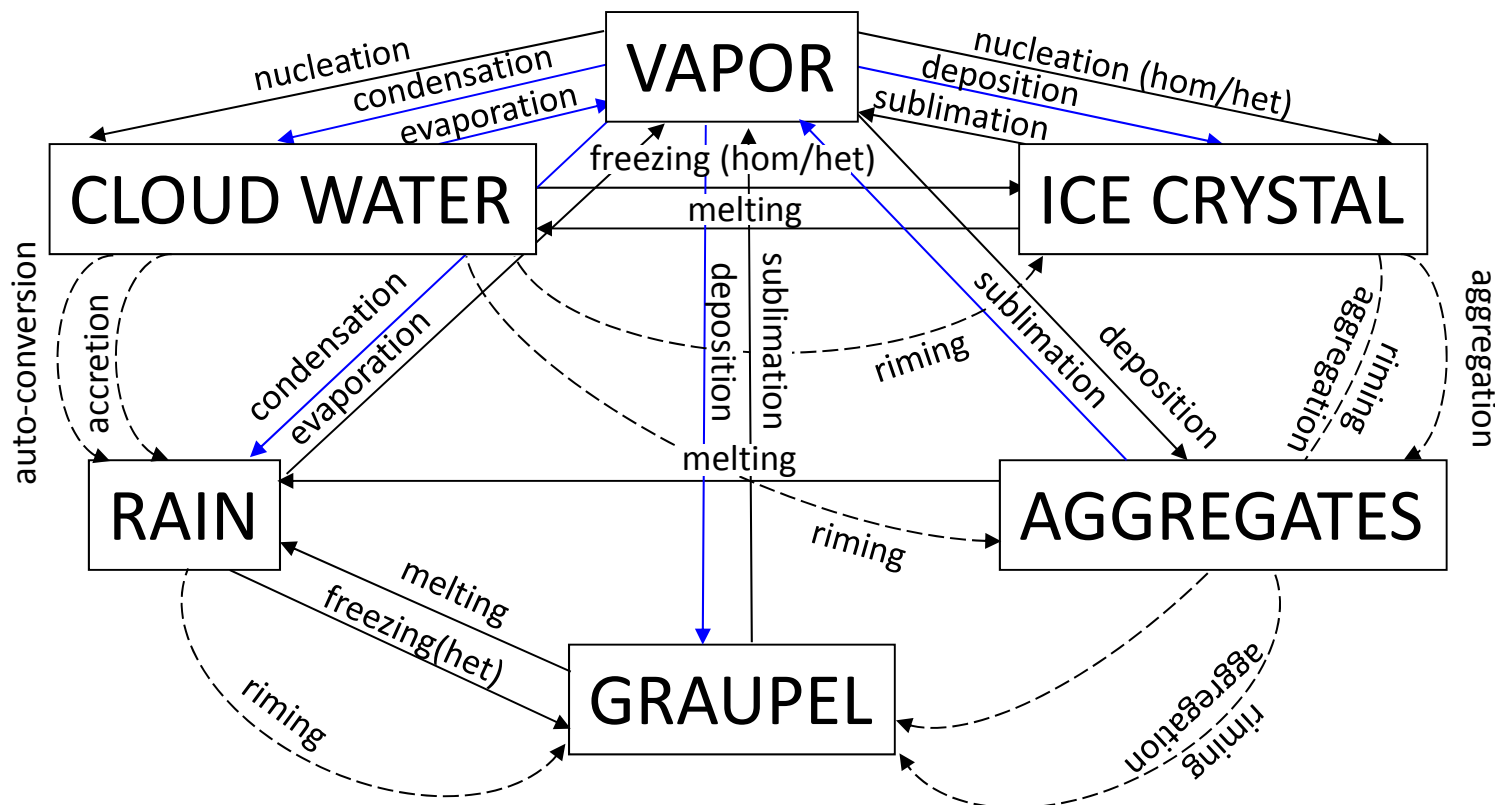
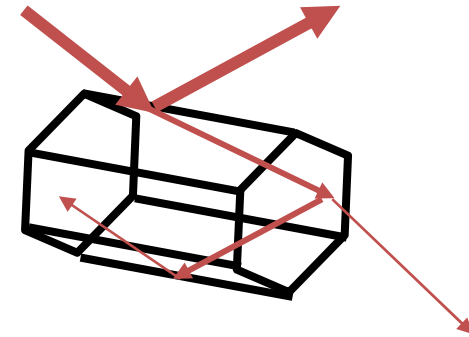
Seiki and Nakajima (2014,JAS), Seiki et al. (2014,JGR), Seiki et al.(2015,JCLI)

全球モデルに適した雲微物理モデルの開発

- ✓ 理論に基づいた定式化
- ✓ 氷形状に応じた雲成長

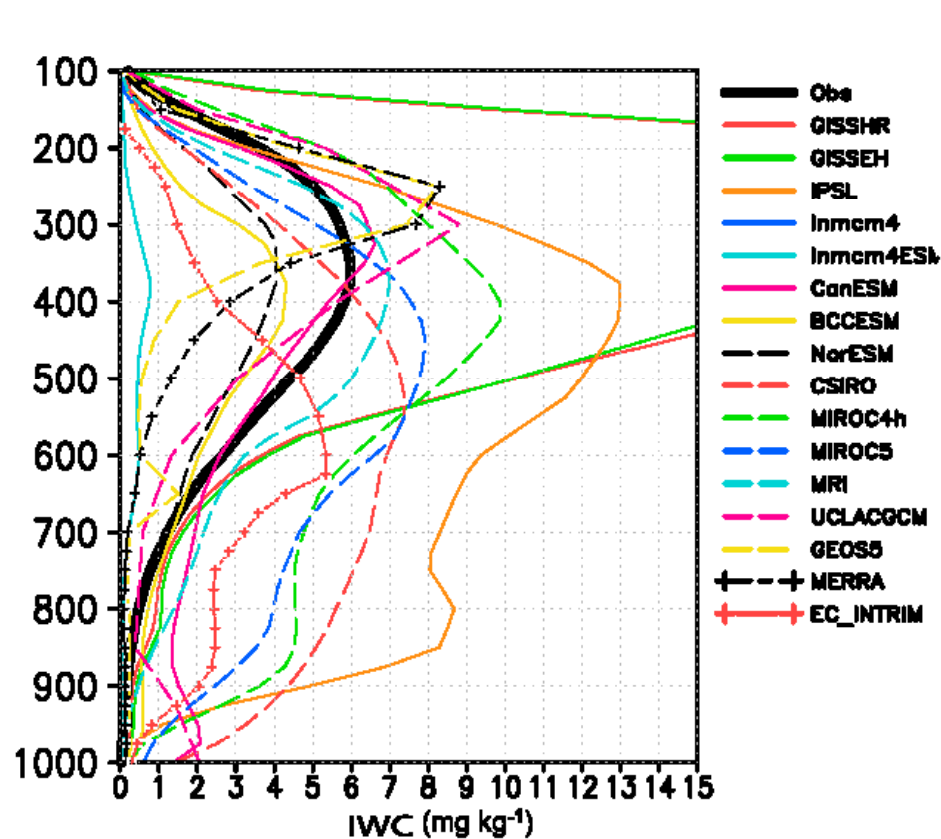
雲放射特性の精緻化（有効半径と形状に依存）

- ✓ 質量と個数を予報し有効半径を評価
- ✓ 非球形散乱の適用



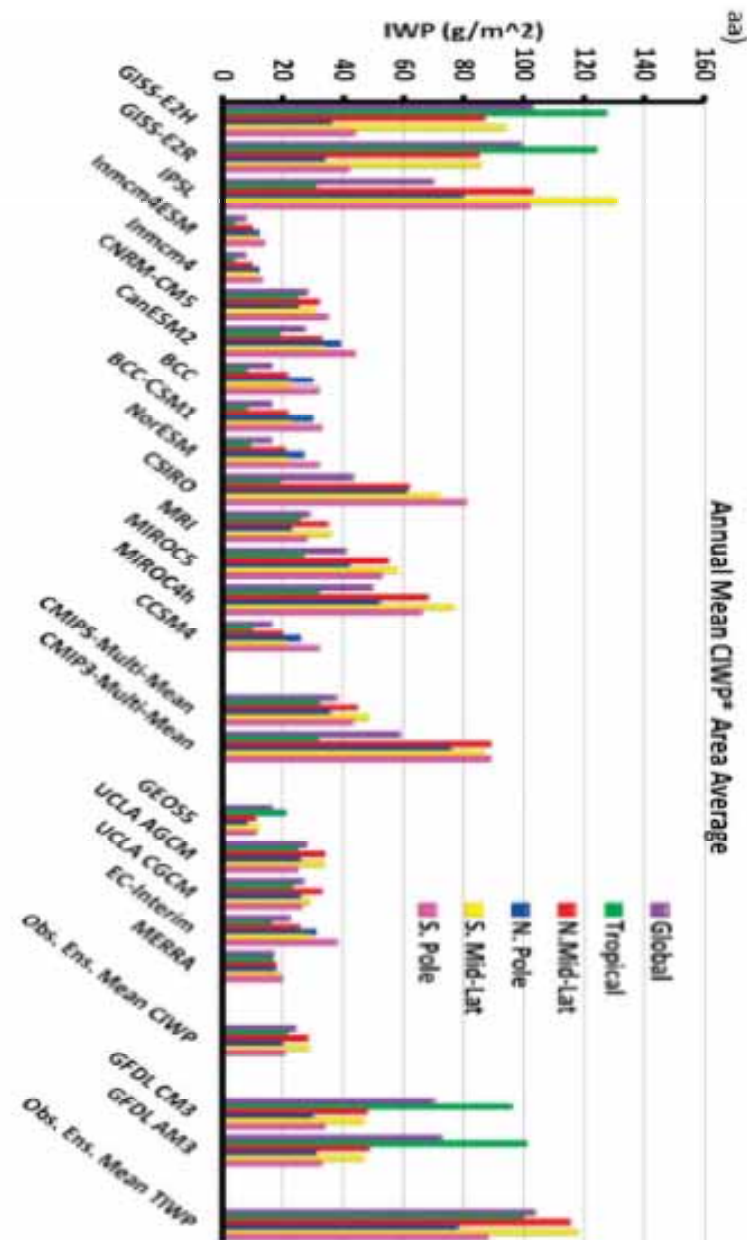
黒線が質量と個数が変化する過程、青線が質量が変化する過程

熱帯上の雲氷+放射バイアスの低減化へ



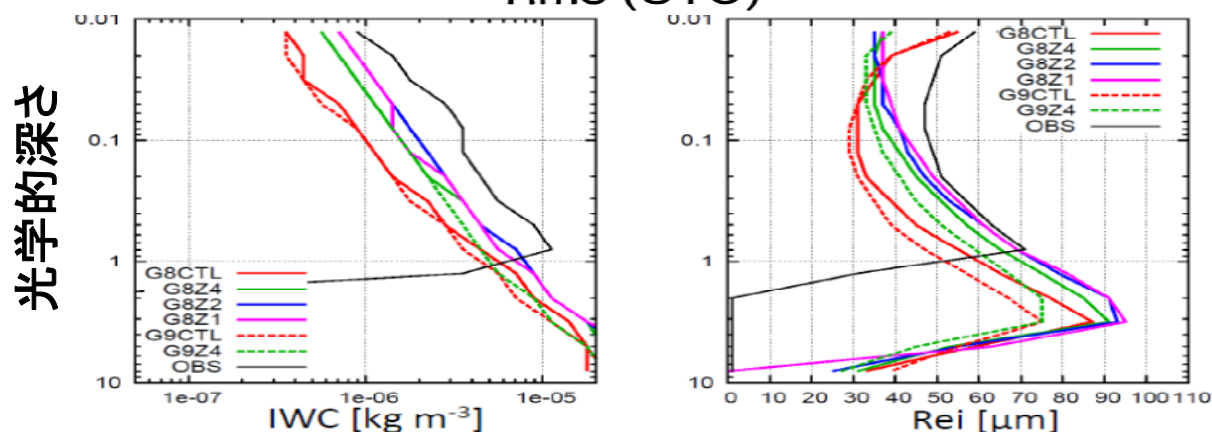
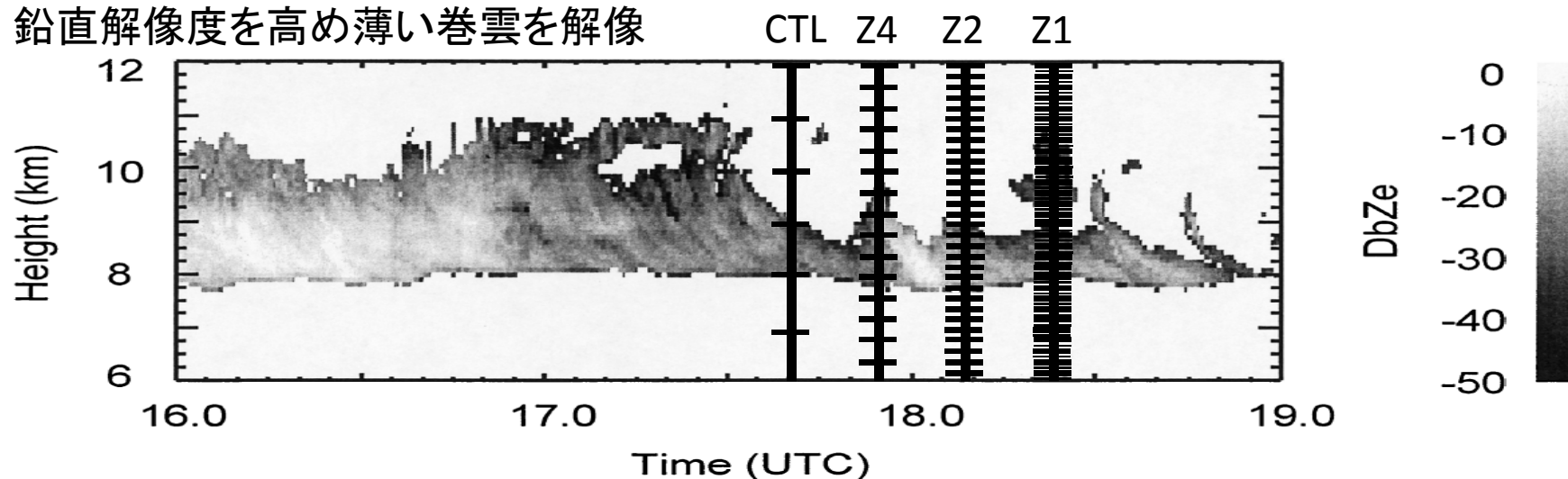
Li et al. (2012)

- CMIP3/5モデルは雲氷のバラつきが大きい
- ✓ 高解像実験+詳細な雲微物理モデルを用い
バラつきの主な原因を追究
- ✓ 雲氷による放射Feedbackのメカニズムの理解



雲氷のより高精度な再現性に向けて

鉛直解像度を高め薄い巻雲を解像



Seiki et al., in prep.

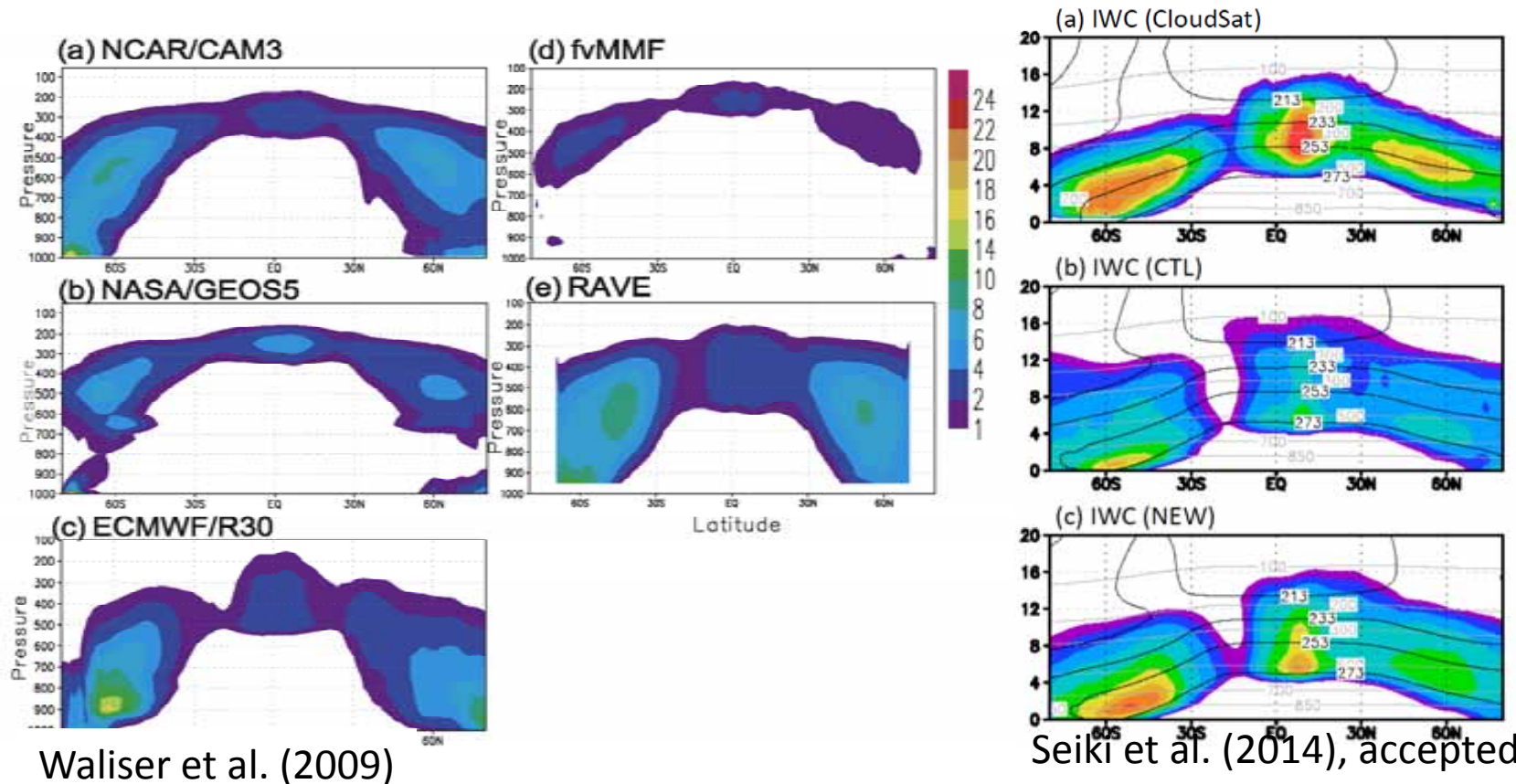
CMIP5モデル, NICAMの鉛直解像度は上空で1000m程度 (IPCC-AR5, 2013)

→ 巻雲の鉛直構造を2~3層程度で表現

→ dz~400mまで高めると、長波放射、雲量、雲氷量+有効半径は収束・改善

⇔ GCM間のバラつきは鉛直解像度の違いによるところも大きそう!

雲氷のより高精度な再現性に向けて



CMIP3/5モデルの放射バイアスは雲氷の過小評価によるところが大きい
(Waliser et al., 2009; 2011; Li et al., 2012; 2013)

NICAMの雲モデルの検証 (Seiki et al., 2014)

✓ 標準NICAMでもGCMに比べて大幅に雲氷量が増加

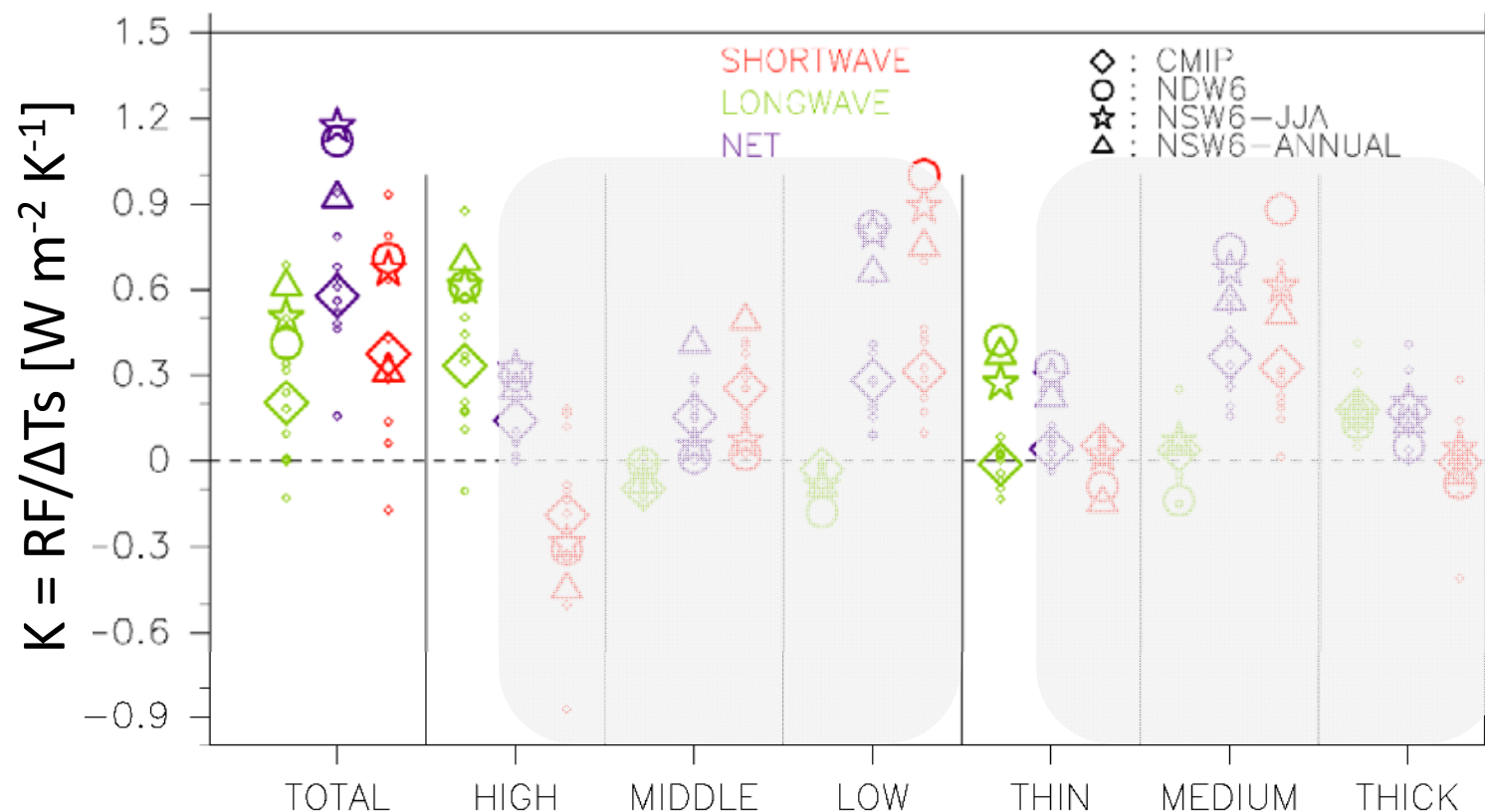
✓ 新雲モデルを用いるとより衛星観測結果(CloudSat)に近づく

→ 雲氷の落下速度と衝突成長の定式化が鍵。

雲氷の温暖化応答: フィードバック

Chen et al. (in prep.)

Feedback: NSW6, NDW6 and CMIP3

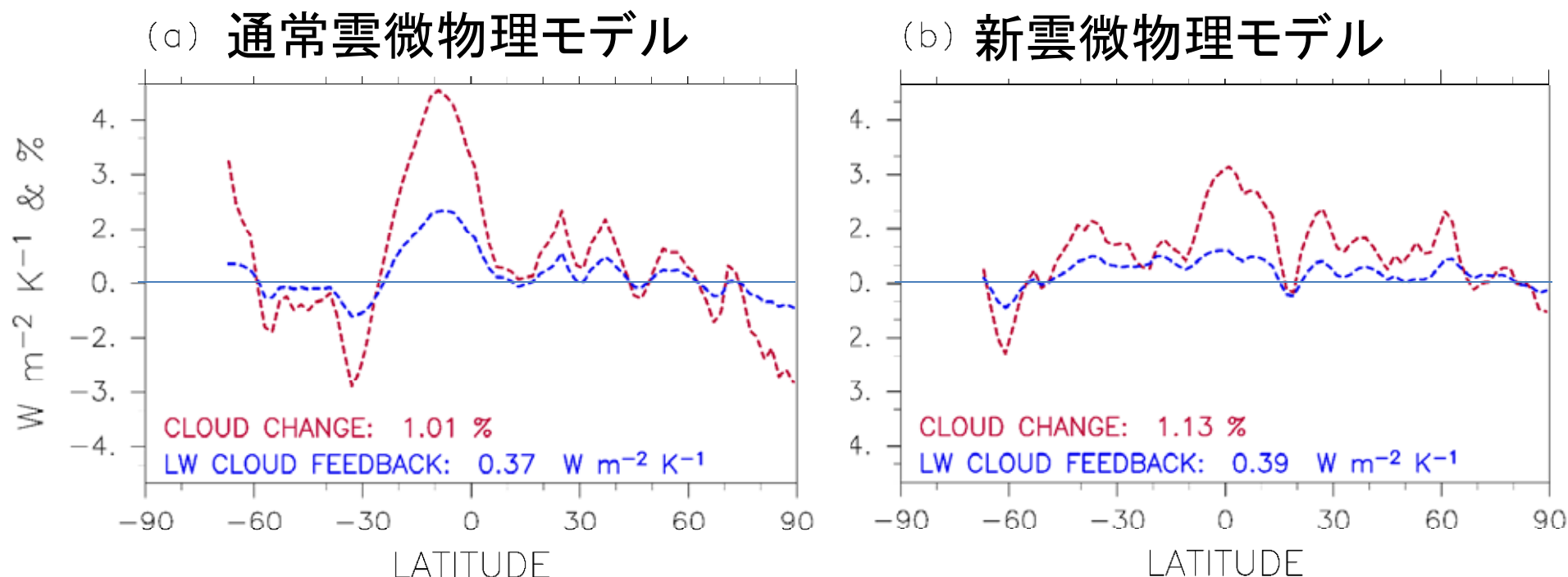


NICAMの特徴

- ✓ 長波放射の温暖化応答が大きい (Sato et al., 2012; Tsushima et al., 2014)
- ✓ 圏界面付近の薄い巻雲が起源 ⇔ 雲氷の影響が大
 - 特定の雲微物理モデルだけの話なのか？
 - フィードバックの強さはどう決まるのか？

雲氷の温暖化応答 : Discussion

Chen et al. (in prep.)



温暖化時にIWPは減少し雲量は増加 (Sato et al., 2012)

- ✓ 本実験の二つの雲微物理モデルでも同様の傾向
- ✓ LW Feedback増加 \leftrightarrow 雲量増加(≠IWP変化)
- ✓ 雲量変化に対するLW Feedbackで両者に違いがあり (通常>新)
 - 温暖化応答の大きい雲氷の質に違いがある？

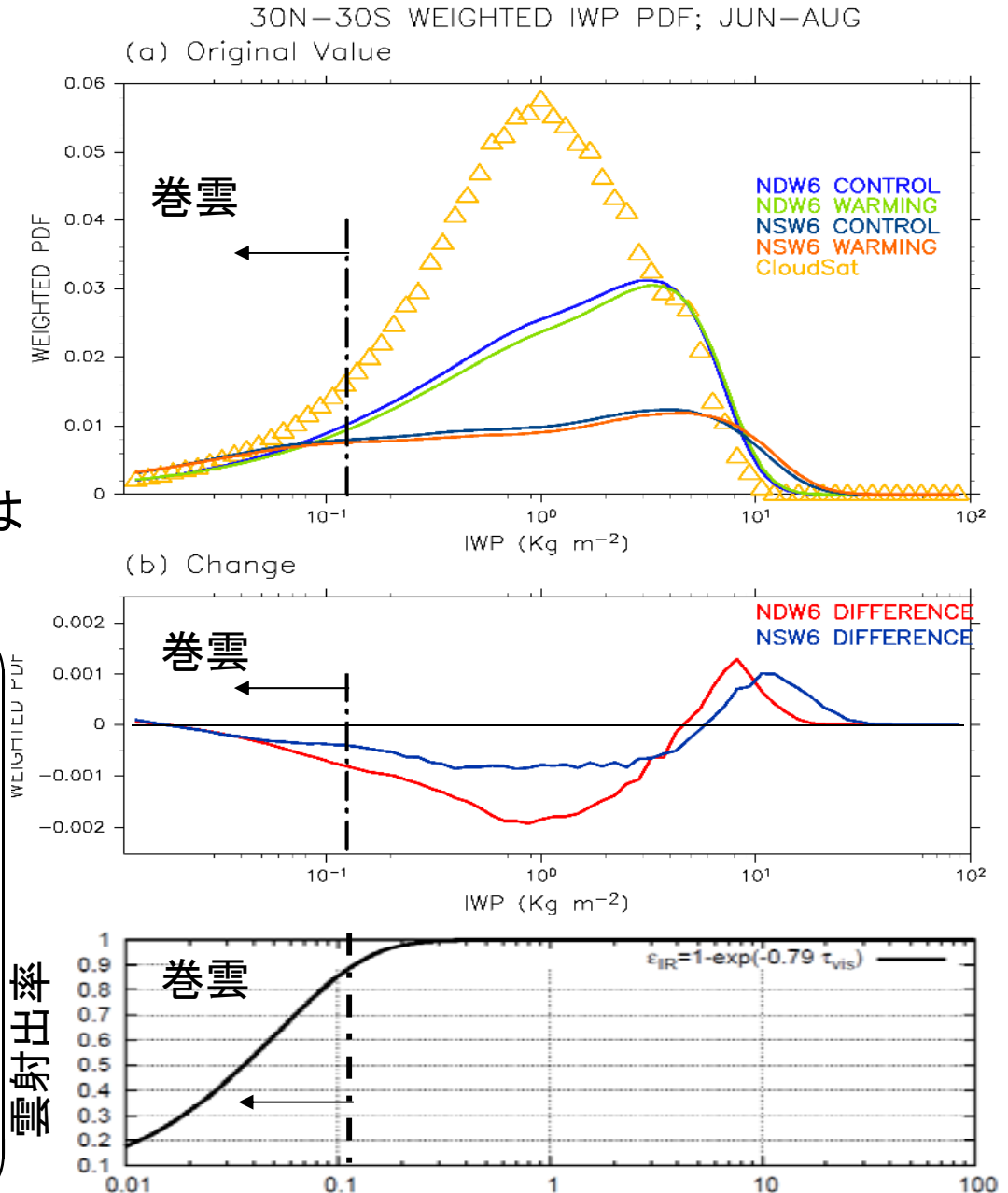
雲氷の温暖化応答: Discussion

新雲微物理の方が
IWPの荷重頻度分布が観測に近い。

CloudSatで検証可能なIWPは
LWCRF変化に対して感度が小さい！
(長波放射強制力が飽和)

長波フィードバックに効果が有るのは
IWPの小さい薄い巻雲の雲量変化

$$\left(\begin{aligned}
 & e.g., LWCRF \sim C_{frac} \varepsilon_{IR} \sigma (T_c^4 - T_s^4) \\
 \delta LWCRF & \sim \delta C_{frac} \frac{\Delta LWCRF}{\Delta C_{frac}} \\
 & + \delta \varepsilon_{IR} \frac{\Delta LWCRF}{\Delta \varepsilon_{IR}} \\
 & + \delta T_s \frac{\Delta LWCRF}{\Delta T_s}
 \end{aligned} \right)$$



雲氷の温暖化応答：まとめ

巻雲放射強制力の温暖化応答 (NSW6 vs. NDW6) Chen et al. (in prep.)

- 傾向はSato et al. (2012)と整合的、雲微物理依存は少ない
 - 雲量は増えてIWPは減る
 - 本研究では長波放射に影響のあるIWPの範囲も言及
(e.g., Berry and Mace, 2014)
- 強度は現在気候の巻雲のIWP分布(特に小さい範囲)に応じる
(e.g., Tsushima et al., 2014)
- 強度は巻雲の微物理特性にも依存
 - ➔ 氷晶成長の適切さが課題(e.g., Seiki et al., 2014ab)

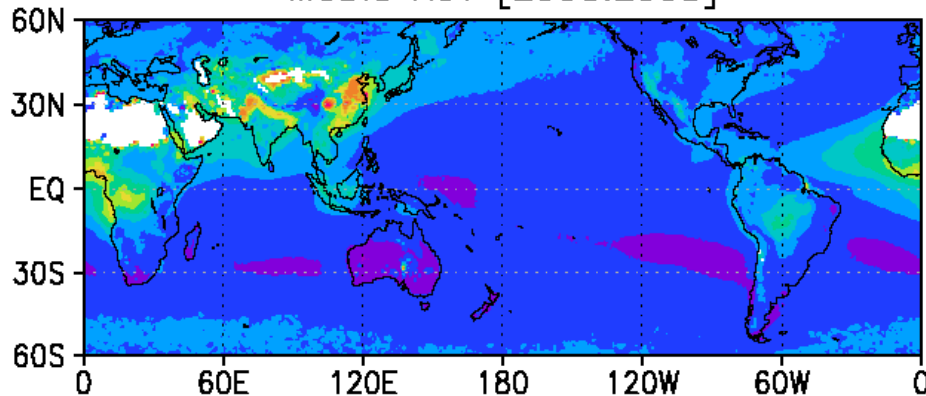
今後、エアロゾルを含めた地域・季節特性の議論を行う予定

2014年論文リスト

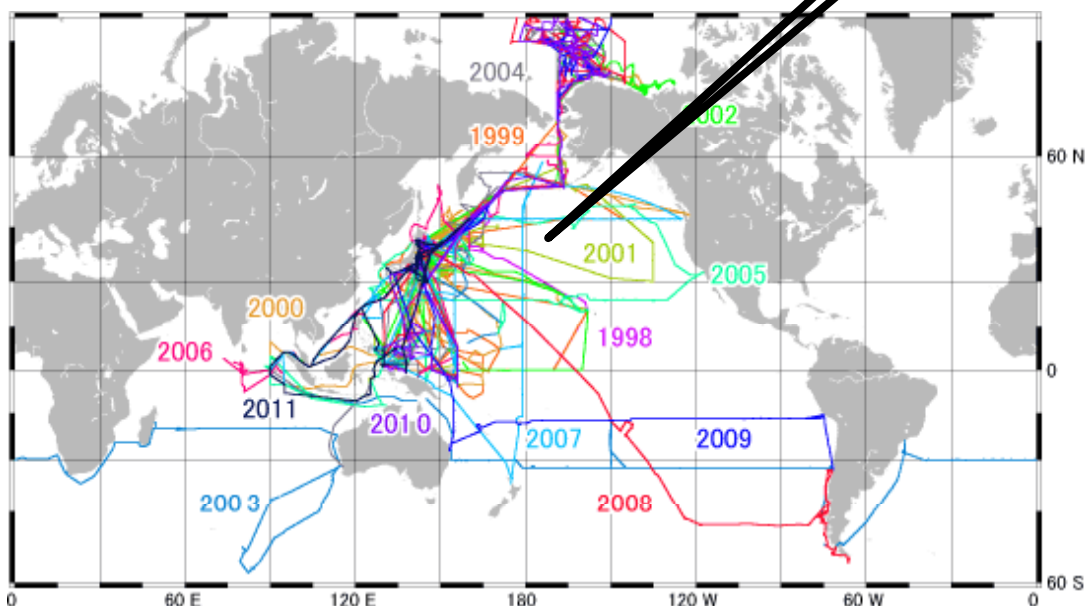
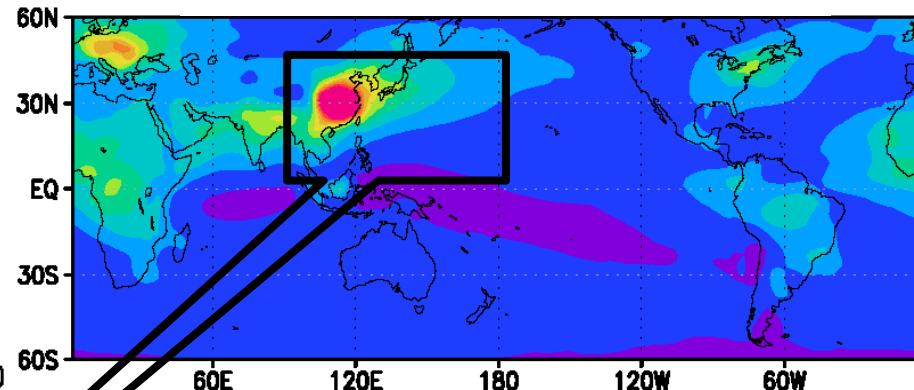
- Kodama, C., S. Iga, and M. Satoh (2014), Impact of the sea surface temperature rise on storm-track clouds in global non-hydrostatic aqua-planet simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 10, 3545-3552, doi:10.1002/2014GL059972.
- Kuba, N., Hashino, T., Satoh, M., and Suzuki, K. (2014) Relationships between layer-mean radar reflectivity and columnar effective radius of warm cloud: Numerical study using a cloud microphysical bin model. *J. Geophys. Res., Atmos.*, 119, 3281-3294, doi:10.1002/2013JD020276.
- Noda, A. T., Satoh, M., Yamada, Y., Kodama, C., and Seiki, T. (2014) Responses of Tropical and Subtropical High-Cloud Statistics to Global Warming. *J. Clim.*, 27, 7753–7768, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00179.1>.
- Noda, A. T., and M. Satoh, 2014: Intermodel variances of subtropical stratocumulus environments simulated in CMIP5 models. *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061812.
- Noda, A. T., M. Satoh, Y. Yamada, C. Kodama, T. Miyakawa, and T. Seiki (2015) Cold and warm rain simulated using a global nonhydrostatic model without cumulus parameterization, and their responses to global warming, *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, doi:10.2151/jmsj.2015-009.
- Roh, W., and Satoh, M. (2014) Evaluation of precipitating hydrometeor parameterizations in a single-moment bulk microphysics scheme for deep convective systems over the tropical open ocean. *J. Atmos. Sci.*, 71, 2654-2673. <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-13-0252.1>
- Satoh, M., Tomita, H., Yashiro, H., Miura, H., Kodama, C., Seiki, T., Noda, A. T., Yamada, Y., Goto, D., Sawada, M., Miyoshi, T., Niwa, Y., Hara, M., Ohno, Y., Iga, S., Arakawa, T., Inoue, T., and Kubokawa, H. (2014) The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: description and development, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 1, 18, doi:10.1186/s40645-014-0018-1.
- Seiki, T., Satoh, M., Tomita, H., and Nakajima, T. (2014) Simultaneous evaluation of ice cloud microphysics and nonsphericity of the cloud optical properties using hydrometeor video sonde and radiometer sonde in situ observations, *J. Geophys. Res.*, 119, 6681–6701, doi:10.1002/2013JD021086.
- Seiki, T., Kodama, C., Noda, A. T., and Satoh, M. (2014) Improvement in global cloud-system resolving simulations by using a double-moment bulk cloud microphysics scheme, *J. Clim.*, accepted.
- Tsushima, Y., S. Iga, H. Tomita, M. Satoh, A. T. Noda, and M. J. Webb (2014) High cloud increase in a perturbed SST experiment with a global nonhydrostatic model including explicit convective processes. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 6, doi:10.1002/2013MS000301.

エアロゾルモデリングの発展に向けて

MODIS AOT [2000:2008]



NICAM-エアロゾル結合版 AOT

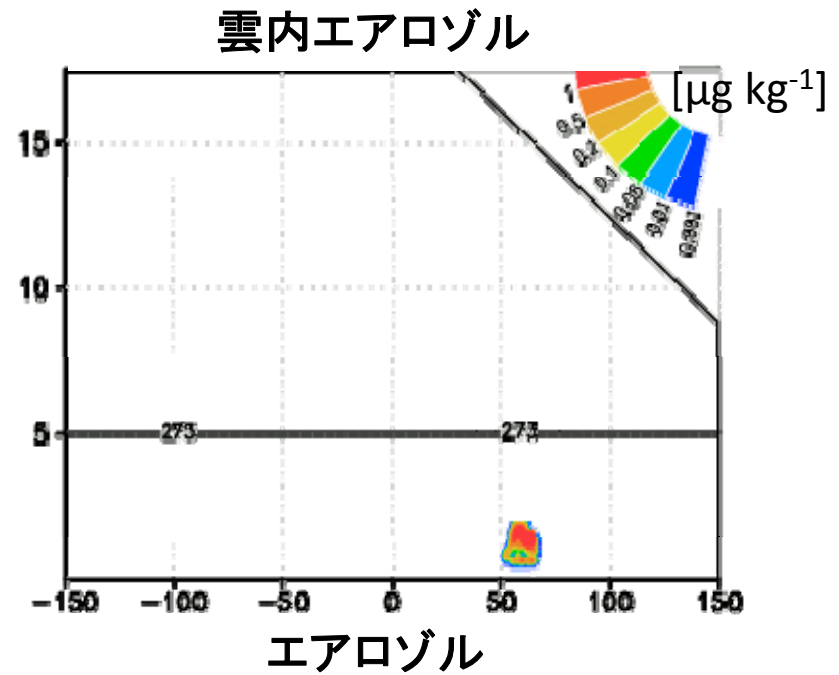
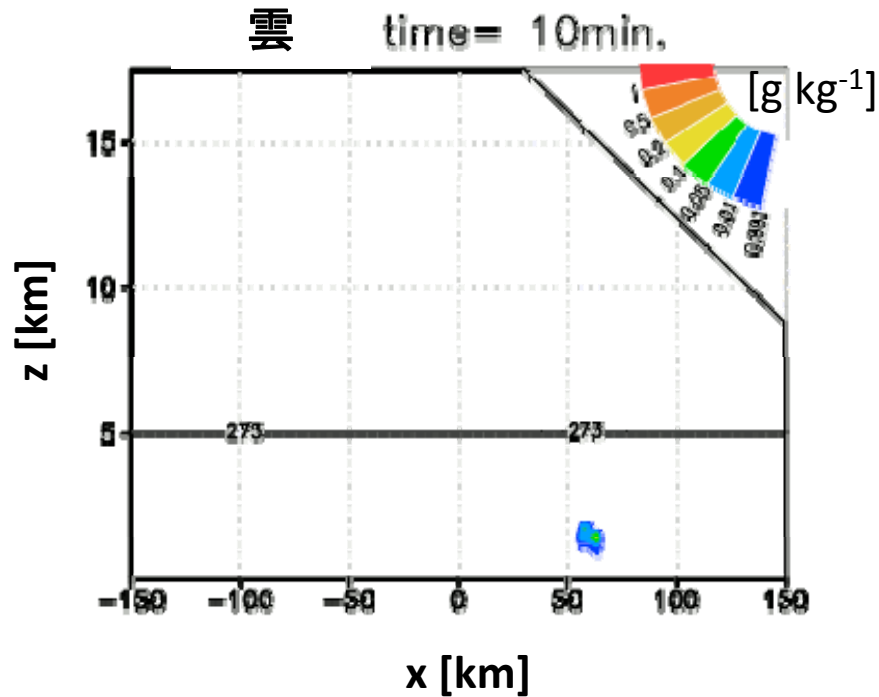


観測船「みらい」による観測航海の蓄積

エアロゾル輸送モデリングの評価段階

- ✓ 雲解像用にモデリングの再構築
 - ✓ 降水除去
 - ✓ 核形成による取り込み
 - 硫酸の液相化学反応
- ✓ 低解像版によるSpin-Up
 - 日本付近の雲解像実験
 - みらい観測による評価
 - エアロゾル除去過程の理解
 - 全球長期実験

海洋上の孤立雲の事例実験



雲(qc)が有る所でエアロゾル(qa)が雲内(qain)に取り込まれている様子

- ・273K以下(氷雲)内にはqainは皆無
- ・殆どのエアロゾルは雨で流される

