

第12回熱帯気象研究会 @ovice

日時: 2021年3月4日-5日, 会場: オンライン ovice

主催: 熱帯気象研究連絡会:

LOC: 梶川義幸・末木健太(理化学研究所)

プログラム

3月4日(木)

09:30-10:00 接続・動作確認・挨拶・開会			
10:00-10:30	1	伊藤耕介 (琉球大学)	3次元的な藤原効果
10:30-11:00	2	池端耕輔 (東京大学)	台風の種および台風への生存率に関する気候特性の解析
11:00-11:30	3	小林健太 (九州大学)	2次元軸対称大気海洋結合モデルを用いた熱帯対流圏界面気温が熱帯低気圧に与える影響評価
11:30-12:00	4	Menggeng Xu (Kyoto University)	Numerical Experiments on the Effects of Radiation on the Evolution of Tropical Cyclone
12:00-13:30 昼食休憩			
13:30-14:00	5	野津雅人 (都立大学)	プレモンスーン期のタイ・バンコクにおける安定度の境界層内鉛直構造
14:00-14:30	6	Ling Tong (Kyoto University)	Characteristics and Causes Analysis of Abnormal Summer Monsoon and Meiyu in 2020
14:30-15:00	7	Ryosuke Shibuya (東京大学)	Prediction Skill of the Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation in NICAM
15:00-15:30	8	Tamaki Suematsu (東京大学)	Tuning NICAM for reproducibility of the Madden-Julian Oscillation
15:30-16:00 休憩			
16:00-16:30	9	久保田尚之 (北海道大学)	台風発生時に観測した雷バーストについて
16:30-17:00	10	小寺邦彦 (気象研究所)	アフリカ-アジア夏季モンスーンに及ぼす近年の熱帯対流圏層低温化の影響
17:00-17:30	11	山中大学 (総合地球 環境学研究所)	海陸風起源双方向重力波による成層圏 QBO 頑健化
17:30-19:00 懇親会 Online @ovice			

3月5日(金)

09:30-10:00 接続・動作確認			
10:00-10:30	12	増永 浩彦 (名古屋大学)	The edge intensification of ITCZ convection
10:30-11:00	13	Ching-Shu Hung (東京大学)	The different pathways to self-aggregation between SCALE and VVM
11:00-11:30	14	Ying-Wen Chen (東京大学)	Projection of high clouds and its link to ice hydrometeors: An approach by using long-term global cloud-system resolving simulations
11:30-12:00	15	Rakesh Teja Konduru (都立大学)	Representation of diurnal cycle of summer monsoon precipitation in the convection-permitting climate model and its sensitivity to the current generation cumulus parameterizations
12:00-13:30 昼食休憩			
13:30-14:00	16	中村雄飛 (東京大学)	赤道 Kelvin 波・Rossby 波の降水特性に関する統計解析
14:00-14:30	17	青木俊輔 (京都大学)	衛星搭載レーダを用いた沿岸域の降水特性の解析
14:30-15:00	18	清木達也 (海洋研究開発機構)	GPM-DPR 観測による熱帯における Hail Storm の分布
閉会 会場は終日利用可能です。			

第12回熱帯気象研究会講演要旨集

#1

3次元的な藤原効果析

Jae-Deok Lee^{1,2}・○Kosuke Ito³・Johnny Chan⁴

1. 琉球大学, 2. 慶北大学, 3. 琉球大学, 4. 香港城市大学

古典的な藤原効果は2つの渦をお互いに回転させる効果として知られているが、過去の研究は、室内実験や2次元的な順圧モデルに基づくものであり、より現実的な3次元構造をもつ状況下での台風についての藤原効果の研究はほとんどない。そこで、WRFを用いてf面上に2つの理想化した台風を置く数値実験を行ったところ、一定以上の距離を離して2つの台風を配置した場合に、互いに離れていく成分が強いことが新たに明らかとなった。解析の結果、2つの台風から出る外出流が対流圏上層に大きな高気圧性循環をなし、それが、水平風の鉛直シアとなってそれぞれの台風中心に対する加熱分布の偏りを作っていることが示唆された。また、加熱を弱める感度実験では、互いに離れていく効果が弱いことを確認した。

台風の種および台風への生存率に関する気候特性の解析

○池端 耕輔・佐藤 正樹

東京大学大気海洋研究所

台風発生数変動の仕組みは、台風以前の弱い渦である台風の種に着目することで理解を深められる。先行研究では例えば、温暖化による台風発生数の増減が主に台風の種の発生数の変化に起因するという指摘がある。しかし月から年規模の変動において同等の関係が成立するかは不明であり、また種の発生数や台風への生存率の変動要因に関する統一見解はない。そこで本研究では2000-2018年の夏季北半球を対象に、台風の種の発生数や環境場に関する統計解析を行った。具体的には再解析 ERA5 から抽出された対流圏下層の弱い渦の経路を台風の種とし、台風ベストトラックと比較して台風に発達する事例を特定した。台風の種および台風の発生数に関する空間分布と月～年変動の解析から、台風発生数の多寡は主に生存率に帰着され、種の発生数の違いは副次的な効果であることが分かった。また各月の種の発生数は対流圏下層の相対渦度の平均場と正の相関を持つことを、背景と考えられる大規模な風速場と共に指摘した。更に、生存率は台風の種が発生した直後の周辺環境場に応じて変化することが分かった。結論として、月から年規模の台風発生数の変動は特に環境場依存である生存率に起因し、台風の種の発生数は下層の大規模循環に伴う変動はあるものの合計数の変動は小さいことが示された。

2 次元軸対称大気海洋結合モデルを用いた

対流圏界面付近の力学場が熱帯低気圧に与える影響の評価

○小林健太¹・江口菜穂²・伊藤耕介³・那須野智江⁴

1. 九州大学総合理工学府,
2. 九州大学応用力学研究所
3. 琉球大学理学部,
4. 海洋研究開発機構

今日、熱帯低気圧 (TC) は壊滅的な被害をもたらす災害として世界的に広く関心が持たれており、TC の進路と強度の予報は被害を防ぐために最も重要な要素である。しかし、TC の構造や周辺環境の影響をモデルで正確に表現できず、TC の予報が外れた事例が多く存在する。一方で近年、TC の構造や強度への観点から成層圏との関係が注目され、TC と成層圏の関係を調べた研究が活発化している[Kodera et al., 2015;Noguchi et al., 2020; Takemi and Yamasaki, 2020]。これらの先行研究は、成層圏の TC に対する影響を示唆しているが、上部対流圏 (UT: Upper tropopause) や 下部成層圏 (LS: Lower Stratosphere) が TC に与える定量的な影響やその詳細なメカニズムは未だ明らかとなっていない。そこで本研究では、UT や LS の力学場が TC に与える影響とそのメカニズムを、二次元軸対称大気海洋結合モデル [Rotunno and Emanuel, 1987; Ito et al., 2010] を用いて調査した。その結果、UT/LS の気温を下げると最大風速が強くなり、中心気圧が低くなることが分かった。また、UT/LS の気温を変化させた実験間の最大風速を比較したところ、最大約 20% の風速変化が発生しており、MPI (Maximum Potential Intensity; Bister and Emanuel., 1978) で予想される風速変化 (約 5%) よりも大きな風速変化が発生したことが分かった。これらの原因として、外部強制として与えた UT/LS の気温変化に加えて、UT/LS の空気塊が補償下降流によって TC 中心に入り込むことで、TC 上層の大気安定度に変化し、TC の発達過程に影響を与えていたことが示唆された。

#4

Numerical Experiments on the Effects of Radiation on the Evolution of Tropical Cyclone

○Menggeng Xu, Tetsuya Takemi

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

A tropical cyclone is a powerful, rotating storm that originates in warm tropical oceans and creates strong winds and heavy rain, which is usually a natural disaster to human's lives and property. Some observational studies of tropical cyclones have found that oscillations of the cloud canopy areal extent often occur that are likely related to the diurnal cycle of solar radiation. Recent cloud-resolving numerical modeling results suggest that radiative forcing may affect the genesis, intensification, structure and track of tropical cyclone. However, presently, there is no consensus in the literature on the impacts of radiation on tropical cyclone. This work examines the impacts of the varying radiative forcing on the evolutions of two typhoon cases, Lionrock (2016) and Hagibis (2019), with the Weather Research and Forecasting (WRF) Model ver. 4.1. Hagibis is a rapidly intensified and quickly moving tropical cyclone, while Lionrock is a slowly developing and moving one. The results of the simulations show that stronger longwave cooling can cause stronger convection, and also lead to the trend of increasing central pressure; and stronger shortwave heating can decrease convection, and the shortwave heating in the eye can decrease the central pressure. The differential longwave cooling between cloudy and clear sky can increase low-level inflow, and hence increase water vapor within the cloud system. If the initial state is dry, the lack of the replenished moisture by differential longwave cooling can lead to considerably latent cooling which suppresses the intensification process. The initial state of Lionrock case is dry, so the differential longwave cooling mechanism is apparent, whereas there is sufficient moisture for Hagibis case in initial state, making the differential longwave cooling mechanism insignificant.

プレモンスーン期のタイ・バンコクにおける安定度の境界層内鉛直構造

○野津 雅人¹・中島 虹²・荻野 慎也³・松本 淳^{1,3}

1. 東京都立大学, 2. 産業技術総合研究所, 3. 海洋研究開発機構

大都市の大気境界層における静的安定度は、物質の鉛直移動を通して大気汚染等に大きく影響を与える要素のひとつである。本研究は、雨季直前の3月にタイ・バンコクの境界層下部に頻発する、高度800 m付近(以下, SL800)の安定層, および400 m付近(以下, UL400)の不安定層(Nodzu et al. 2006)に着目する。本発表では、1974–2008年のゾンデ観測データを用いた、気候学的特徴と経年変動の解析結果を報告する。

仮温度減率を静的安定度と考え、その中央値でみたSL800の安定, およびUL400の不安定は3月下旬にピークを迎える。このような安定, 不安定は逆転層のような強い安定な層の頻度とともに、頻度分布全体の安定, 不安定にも対応する。また、両高度の安定度に相関が認められた。よって、日々の変化という観点では、両高度ともに全体として安定, 不安定になることが分かった。

UL400の安定度は1990年頃にかけて小さくなった。上下層の気温変化から、1990年頃までの都市化と、その後の都市化の飽和状態を反映していることが示唆される。一方で、SL800の安定度に見られる年々変動は上層における気温変動の寄与が大きい。

Characteristics and Causes Analysis of Abnormal Summer Monsoon and Meiyu (Baiu) in 2020

○Ling Tong · Tetsuya Takemi

Kyoto University

Meiyu is the most important process in the rainy season in eastern China. The abnormality of the Meiyu will bring severe droughts and floods to the middle and lower reaches of the Yangtze River. The precipitation during the Meiyu period was uneven in time and space with more than double of normal Meiyu precipitation, which was ranked the second place after 1954 since 1951. Furthermore, the daily average precipitation was also stronger. The Meiyu onset (outset) date over regions to the south of Yangtze river, over the Yangtze River basin and Yangtze-Huaihe basin were 7(3), 5(18), 11(18) days earlier(later) than normal, respectively. The Meiyu in the Yangtze River basin was the strongest with the amount of 753.9mm. Based on the ERA-5 reanalysis dataset of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and CMORPH precipitation data, the characteristics of abnormal Meiyu and associated large scale circulation during the Meiyu period of 2020 in China are analyzed showing that the combined effect of the winter and summer seasonal adjustments and the significant advancement of the transition of the upper, middle, and lower tropospheric circulation systems has led to an early onset of Meiyu to the south of the Yangtze River in 2020. The East Asian subtropical westerly jet and the first northward jump of the Western Pacific Subtropical High(WPSH) are important signals to the onset of Meiyu. The anomalous westward and southward movements of WPSH and the anomalous anticyclone observed in northeast China, which exerted a main effect on transportation of cold air and the abundant water vapor to the Meiyu regions, resulting in an abnormally high amount of precipitation. The stable maintenance of WPSH has a good relationship with the abnormal precipitation during July. The decay of the El Niño event in the previous winter and the persistent warming of the Indian Ocean in spring and summer was also a main reason that caused the WPSH to be extremely strong during the Meiyu period in 2020.

Prediction Skill of the Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation in NICAM

澁谷亮輔¹・中野満寿男²・小玉知央²・那須野智江²・佐藤正樹¹・宮川知己¹,
三浦裕亮³・菊池一佳⁴

1. 東京大学大気海洋研究所, 2. 海洋研究開発機構,
3. 東京大学大学院理学系研究科, 4. ハワイ大

We assessed the prediction skill of the Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation (BSISO) mode of one-month simulations using a global non-hydrostatic atmospheric model (NICAM) with explicit cloud microphysics and in a grid spacing of 14 km. The simulations were run as a series of hindcast experiments everyday of August during 2000–2014; a total of 465 simulations were run with a 1350-day integration. Based on forecast skill scores for statistical measurements, it was found that the model showed an overall BSISO prediction skill of approximately 24 days. The prediction skill tended to be slightly higher (~ 2 days) when BSISO events began in the initial phases of 7 to 1, which corresponded to the re-initiation phase of the BSISO, where a major convective center over the Philippine Sea decayed and a new convective envelope began aggregating over the western Indian Ocean. The phase speed and the evolution of the amplitude of the BSISO were well simulated by the model with a clear northwestward-southeastward tilted outgoing longwave radiation (OLR) structure over the Maritime continent and the western Pacific. However, the propagation speed was slower during phases 6–7, and the amplitude of the BSISO largely decayed during phases 8–1, which was likely to have been associated with the stagnant behavior of the convective cells over the Philippines. This stagnation of the propagation over the Philippines may be largely attributed to the smaller background southerlies bias in the model over the Philippines based on regression coefficient analysis using the moist static energy. The bias in the large-scale circulation was likely to have been associated with the bias in the moisture field and the associated background monsoonal circulation. We concluded that the model physics controlling the background fields are important factors for improving the BSISO prediction skill.

Tuning NICAM for the reproducibility of the Madden-Julian Oscillation

○末松環¹・柳瀬友郎²・三浦裕亮³

1. 東京大学大気海洋研究所, 2. 京都大学大学院理学研究科, 3. 東京大学理学系研究科

マッデン・ジュリアン振動 (Madden-Julian Oscillation; MJO) はインド洋上で発生し 30 日から 60 日かけて西太平洋へと東進する活発な対流活動域に特徴付けられる、熱帯大気のもっとも顕著な季節内変動である。MJO は熱帯域に多量の降水をもたらす他、全球の気象に影響を与えることから、MJO のモデルでの再現は天気予報にも重要な課題である。しかし、現在でも MJO の再現は多くのモデルが苦戦しており、NICAM においても解像度や各種物理過程のパラメータに MJO の再現性は大きく依存する。さらに、MJO の再現に最適化されたパラメータ設定は季節スケール以上の平均場の再現に適合するとは限らず、初期値応答問題としての MJO の再現ではなく自発的に MJO が発生する季節から年スケールの長期シミュレーションを今後行うためには MJO と背景場の再現を両立する物理過程のパラメータ設定を定めることが課題となる。実際に高解像度モデル比較プロジェクト (HighResMIP) 実験などの年スケールでのシミュレーションでこれまで用いられていた NICAM の実験設定では MJO の再現性に問題があり、今後の NICAM の高解像度化と季節予測の実施に向けた物理過程のパラメータ設定の改善が求められている。そこで、NICAM での MJO の再現性の改善を図るために大規模な物理パラメータスイープ実験を行い、NICAM の MJO 物理パラメータチューニングを行った。本発表ではチューニングから得られた NICAM の振る舞いに関する知見とチューニングの結果を紹介する。

台風発生時に観測した雷バーストについて

Lightning bursts observed during the tropical cyclone genesis

○久保田尚之・高橋幸弘・佐藤光輝

北海道大学理学研究院

活発な積乱雲内では強い上昇気流によって雷が発生する。近年積乱雲内の雷の活動度が対流活動の指標として用いられている。台風周辺においても雷が発生しており、台風が急速強化した際、雷活動が最も活発化し、台風最盛期の先行指標として注目されている。地球規模課題対応国際科学技術協力プログラムの研究課題「フィリピンにおける極端気象の監視・情報システムの開発」では、フィリピンと西太平洋域に雷放電観測網を展開しており、フィリピン海で発生した台風周辺での雷放電を継続的に観測している。2020年に発生した台風のうち発生時に雷活動が急激に増加する現象を数多く検出し、雷バーストと呼び調査した。2020年台風9号では、台風が発生した8月28日に台風周辺の雷放電数が台風発生期間中で最大となった。雷バーストは台風中心から半径100–200 km付近に発生し、気象衛星ひまわりでは雲頂温度190K以下の非常に活発な積乱雲を構成していた。雷頻度は8月28日03:30-05:30Zに集中して増加し、気象庁は06Zに台風発生を判定した。2020年にフィリピン海で発生した台風の約半数で発生前後に雷バーストを観測した。台風発生時の積乱雲の発達に関して、雷の視点から議論していきたい。

The accuracy of tropical cyclone (TC) track forecast has been improved year by years, on the other hand, the forecast of tropical cyclone intensity still has a difficulty of improvement. Recently the relationship between lightning activity and tropical cyclone intensity has been investigated. Lightning tends to increase during the rapid intensification of the TC. Therefore, monitoring the lightning activity becomes important for a TC intensity forecast. Lightning observation network are deployed over the western north Pacific by five very long frequency events trigger measurements called V-POTEKA at Palau, Guam, Manila Philippines, Okinawa Japan and Serpong Indonesia under the ULAT (Understanding Lightning and Thunderstorm) of SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) in the Philippines.

Lightning activity was drastically increased around the TC during the TC genesis stage of tropical storm Maysak on 28 August 2020. Numbers of lightning reached the maximum during the life cycle of the TC. Location of lightnings were concentrated near the center of TC in about 100 to 200 km radius. Convective clouds reached less than 190K of blackbody temperature near the center of the TC. We called this phenomenon as “lightning burst”. It seems that lightning burst is associated with the convective burst which tends to occur during the TC genesis stage. About half of TCs observed lightning bursts during the TC genesis stage over the Philippine Sea in 2020. We will investigate further what kind of structure occurred during the lightning burst and what kind of mechanism responsible for the lightning burst.

アフリカ-アジア夏季モンスーンに及ぼす近年の熱帯対流圏界層低温化の影響

○小寺邦彦¹・江口菜穂²・Rei Ueyama³

1. 気象研究所, 2. 九州大学応力研, 3. NAS/ AMES

近年、熱帯の降水に増加傾向が見受けられる。特にアジア-アフリカ夏季モンスーンの降雨の増加が特徴的である。先の研究では、1980年代に入り、西アフリカ・サヘル域の降水の増加が見られるが、これは降水量というよりメソスケールの対流圏界層まで達する非常に深い対流活動の増加が主要な現象である事を示した。ここでは、アジア-アフリカ域に調査域を広げ、最近の熱帯の大陸及びその周辺の循環の変化に対する非常に深い対流の寄与について JRA-55 の再解析データを用いて調査した。また、非常に深い対流活動の増加の要因としては対流圏の温暖化と共に下部成層圏の寒冷化に起因する対流圏界層の温度の鉛直勾配の減少が考えられる。グローバル・モンスーンの長周期変動には大気-海洋系の内部変動である大気-海洋結合モードの関与が示されている。本研究では、対流圏界層における水平発散場と海面水温との SVD 解析を 1958~2020 年の夏季期間について行う事で単調なトレンドと長周期変動との分離を試みた。その結果、近年の、2000 年以降の変化は主としてトレンド成分で説明される事が示唆された。

海陸風起源双方向重力波による成層圏 QBO 頑健化

山中 大学

総合地球環境学研究所; 神戸大学名誉教授

赤道近傍の地上, 特に海岸最長のインドネシア海大陸 (IMC) では沿岸日周期 (CDC) が最も卓越し, 洋上の季節内変動 (や亜熱帯の台風) と並ぶ (むしろより有力な) 熱帯対流雲生成機構となっている. CDC の上昇 (雲) 域は夕刻に山岳部を発し未明に海上に達するものと, 未明に海上を発し夕刻に山岳部に達するものがあり, 水平位相速度の大きさは陸上や沿海上で $100 \text{ km}/\text{半日} \approx 10 \text{ km/h} \approx 3 \text{ m/s}$ 程度で, 沖では速くなり, また個々の雲移動や雲底収束風は 20 m/s 程度になる. 下降域を含めた CDC 海陸風循環は, Coriolis 因子が $2\pi/1$ 日より小さい南北緯 30° 以内では, 下端で鉛直流=0 を満たす (上下伝両成分が釣合う) ような 3 次元伝播慣性内部重力波の重畳である. 分散関係は, 地表付近では粘性項が浮力項と釣合う定常水平対流セルとなり, その強さや規模 (水平波長~数百 km) は海陸間温度勾配で決まる. このセルより上では加速度項が浮力と釣合う上伝内部重力波となる. 下端の海陸間温度勾配の昼夜逆転に対応して, 波の水平位相速度はそれぞれ陸海向きの, 観測される大きさとなる. 赤道上の陸地の東西両岸と昼夜で, 双方向のほぼ同振幅の重力波が上向きに放出されることになる.

この CDC 起源重力波生成は, 赤道域下部成層圏準 2 年周期振動 (QBO) に関して初期の簡単な Plumb のモデルが想定し (Plumb & MacEwan が水槽実験で示し) たものに極めて近い. QBO は波動平均流相互作用理論で基本的に説明されるが, その周期や緯度・高度範囲に見られる頑健性から示唆されるほぼ等振幅な東西双方向の波動の恒常的生成機構は未解明であり, 大循環モデルでなかなか正確に再現できないことも CDC と共通している. CDC が卓越する緯度範囲は重力波上方伝播可能域より狭く, 日射日周期が年周期より卓越する両回帰線内の (IMC 南北幅と重なる) 南北緯 10° であり, QBO と合致する. CDC 全体より速い雲の移動に対応した波の位相速度は, その臨界高度を与える QBO 東西風振幅と合致している. CDC 重力波の運動量束を決める海陸間温度勾配は ENSO/IOD や MJO 雲団上陸等で増減し得るが, 現実以上に増すと Plumb モデルでは二重周期が現れ, 減じると構造が崩れる. 赤道中にはアフリカ・南米が IMC とほぼ -90° , 180° の位置関係にあることに加え, 地球自転が十分に高速であることが本来局所的な日射強制を実質的に Plumb の想定したように帯状化させている.

低緯度 CDC による QBO の頑健化は, 中緯度山越え気流 (停滞波) による中部成層圏・中間圏界面弱風層生成などと共に自転地球による大気圏コントロールである. CDC は, 金星大気で全球的位相構造の日周期 (潮汐あるいは夜昼間対流) について検討されたような傾斜対流 (“moving flame”作用) を生じない. CDC は海陸共存惑星地球ならでの現象で, 陸惑星 (金星・火星) や海惑星では起きない (木星の準 4 年周期(QQO)などは別原因ということになる). CDC は子午面循環・水循環 (cold trap) と連動し, 海岸線分布のほか陸上の植生や人間活動 (heat island) などでも振幅が変わり得るので, これらも QBO の周期を変調させる可能性がある.

The edge intensification of ITCZ convection

増永 浩彦

名古屋大学 宇宙地球環境研究所

Tropical precipitation in the climatological map is most intense at the heart of ITCZ, but this is not always true in instantaneous snapshots. Precipitation is amplified along the ITCZ edge, rather than at its center, from time to time. An edge intensification of convection is known for idealized RCE simulations (Windmiller and Hohenegger, JAMES, 2019). Mapes et al. (GRL, 2018) revealed a sinuous tropical margin sharply separating the moist and dry air masses, which implies dynamic processes resembling the convection intensification at the ITCZ boundaries. Despite the growing body of evidence, the physical mechanism behind the edge intensification has yet to be clarified.

In this study, a variety of satellite observations of CWV and precipitation (AMSR-E) and radiation (CERES) as well as the thermodynamic field from the ERA5 dataset are analyzed to investigate the behavior of moist convection in light of the local atmospheric energy imbalance. The present work is focused principally on the eastern Pacific ITCZ, defined as a section with CWVs higher than 50 mm along A-Train satellite downtracks over the region of 180°-90°W and 20°S-20°N. The events with convective intensification near the ITCZ edge are averaged into composite statistics and are contrasted against the control cases with intensification around the ITCZ center. The key findings are as follows. When convection peaks at the ITCZ center, suppressed radiative cooling brings about a prominent positive peak in the diabatic heating to the atmosphere, counteracted by an export of moist static energy (MSE) owing to a deep vertical advection and a striking horizontal advection of MSE. When convection peaks at the ITCZ edges, on the contrary, a positive peak of the diabatic heating is present but weak. This disadvantage is compensated by a net import of MSE enabled by a shallow ascent on the ITCZ edges, which presumably allows an edge intensification to occur despite the weak diabatic forcing.

The Different Pathways to self-aggregation between SCALE and VVM

○Ching-Shu Hung¹ · Hiroaki Miura¹ · Jin-De Huang² · Chien-Ming Wu²

1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo
2. Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

In this study, self-aggregation simulations following Wing et al. (2018) are conducted focusing on the development toward self-aggregation by two cloud-resolving models (SCALE and VVM). Even though the two models reach self-aggregation state after 40 days of simulations, the pathways toward aggregation are very different given the same sea surface temperature. The dry area expansion through radiative cooling is evident in SCALE which effectively shrinks the moist region, while VVM takes a different route through the convection development in the moist region. The subsidence induced by the convection organization further enhances the expansion of the dry region leading to the self-aggregation. The PW-sorted stream function and isentropic analyses show that the aggregation in SCALE is through the development of strong shallow circulation, while it is through the subsidence warming from aloft in VVM. The time evolution of convective core clouds distribution can be a precursor of the different pathway.

#14

**Projection of high clouds and its link to ice hydrometeors: An approach by using long-term
global cloud-system resolving simulations**

○Ying-Wen Chen¹ · Masaki Satoh^{1,2} · Chihiro Kodama² · Akira T. Noda² · Yohei Yamada²

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

This study reveals projection of high clouds related to SST change using a 20-year simulation data set conducted by a global cloud-system resolving model (NICAM) with horizontal resolution at 14-km. This study especially focuses on 1) the cloud fraction field responses to the SST pattern spatial structure, both in horizontal and vertical sections, and 2) their link to the ice hydrometeors (cloud ice, snow and graupel), which cannot be resolved by conventional GCMs. Results showed that the simulated tropical high cloud variation against to the SST variation has qualitatively similar behaviors with the observed one. The simulated high cloud behavior is mainly related to that of the cloud ice because of the layered structure of each ice hydrometeor. Under the warming climate, the relation between the tropical high cloud and SST shows a similar behavior with 1.5 times of the amplitude of that under the present climate, and this amplification of cloud fraction contributes an increase in the high cloud increase under the warming climate. We furthermore revealed the increase in the high clouds coverage in the tropics under the warming condition is directly linked to the wider spread of cloud ice in the eastern Pacific region. This study specifically reveals the pattern similarity between the global-warming responses of the high cloud fraction and the cloud ice, indicating that an appropriated treatment of cloud ice in global climate model is a key to simulating high clouds and their response to global warming.

Representation of diurnal cycle of summer monsoon precipitation in the convection-permitting climate model and its sensitivity to the current generation cumulus parameterizations

Rakesh Teja Konduru · Hiroshi G. Takahashi¹

Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, Tokyo

For the Asian summer monsoon, diurnal cycle of convection is an essential trigger that develops and organizes precipitation systems and contributes to the spatial and temporal distribution of monsoonal precipitation. Current research has investigated some essential research areas concerning convection representation, the role of model horizontal resolution, cumulus parameterizations, and explicit convection on the diurnal precipitation characteristics of the Indian summer monsoon.

Our investigation revealed that all current generation cumulus parameterizations (CPs), irrespective of their formulation, simulated noon, or afternoon peak precipitation phase-locked to the diurnal timing of maximum solar insolation over the Indian landmass; this is 3–6 h earlier than the observations. This misrepresentation may be due to the constant nature of the convective adjustment time scale. Also, we found marginal improvements in the diurnal precipitation amplitude and phase with the introduction of scale adaptive dynamic convective adjustment time scale in the MSKF, but several aspects of the diurnal precipitation characteristics were improperly simulated by the MSKF. As such, a better means to simulate the diurnal cycle in climate models is required.

Further, we found realistic representation of Indian summer monsoon diurnal precipitation in a convection-permitting climate simulation. This simulation accurately reproduced the diurnal phase and amplitude of precipitation and its characteristics compared to the observations. This improvement in the diurnal cycle is due to the explicit representation of the convective adjustment time scales. In explicit convection simulations we found diurnal precipitation cycle spatial distribution dependence on the model horizontal resolution. These findings are useful to better understand typical diurnal precipitation characteristics biases among the climate models that utilized CPs and explicit convection.

Keywords: Indian summer monsoon, convection, convection-permitting model, precipitation, diurnal cycle, and regional climate model.

赤道 Kelvin 波・Rossby 波の降水特性に関する統計解析

○中村雄飛・高藪縁

東京大学大気海洋研究所

赤道波と積雲対流活動との結合過程については、種々の不安定メカニズムが提案されてはいるものの未だ完全には解決しておらず、また実際の現象との対応も明らかではない。本研究では赤道 Kelvin 波・Rossby 波に着目し、衛星レーダ観測を用いて、結合する対流とその特性を定量化する。また対流特性と赤道波擾乱の関連を検討することで、対流と赤道波の結合過程を考察する。Rossby 波は鉛直に直立した渦構造を持ち、これが水蒸気を鉛直に捕捉することで大きな CWV の偏差を生じる。この擾乱場の特徴は **moisture mode** に相当する不安定メカニズムが含まれることを示唆する。前方の赤道上で浅い積雲活動が活発であり、位相の進行に伴って赤道から離れた位置に対流活動が移り、降水は主に MCS によってもたらされる。Kelvin 波は重力波に相似な鉛直構造を持ち、降水量には負偏差が見られるにもかかわらず CWV はほとんど負偏差を持たないことから、**gravity wave mode** に相当することが示唆される。鉛直構造とよく対応する 3 層構造の対流活動の変遷を示す一方で、対流活動による位相関係の変調も認められた。両方の波モードにおいても、よく組織化した対流活動による **top-heavy** な加熱が有効位置エネルギーを増幅する構造が示された。また先行する浅い積雲活動が自由対流圏の加湿を通じて対流結合波の伝播を支持している可能性が考えられる。また、これらの共通する対流活動の特徴が等価深度の共通性に影響しているかもしれない。

衛星搭載レーダを用いた沿岸域の降水特性の解析

○青木 俊輔・重 尚一

京都大学大学院 理学研究科

衛星搭載レーダは海陸を問わず均質な降水観測を行うことができる。これまでに、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 搭載の降雨レーダ (PR) を用いて熱帯沿岸域に集中する降水についての研究が進められてきた。TRMM PR による観測は低緯度域に限られるが、2014 年打ち上げの全球降水観測計画 (GPM) 主衛星搭載二周波降水レーダ (DPR) Ku 帯レーダ (KuPR) による観測データの蓄積により、高緯度沿岸域の降水分布も得ることが可能となった。本研究では、TRMM PR による低緯度域の観測と GPM KuPR による高緯度域の観測を、下層風の陸方向風速をパラメータとして分類することで、全球沿岸域の降水分布を調査した。

熱帯域でも陸方向の風が強い場合には、モンスーン流などによる日周期変動の小さい継続的な降水が多量に沿岸域にもたらされていた。熱帯域で風が弱い場合には、海陸の加熱コントラストに起因する降水の日周期変動が卓越し、海陸ともに海岸線から離れる方向に降水域・無降水域が伝播するモードが確認された。対して中高緯度域では、地表面加熱により駆動される降水が起こりづらく、降水の日周期変動は小さくなっていた。また、陸方向風速に降水量が強く依存していることから、中高緯度沿岸域では湿った気流が地形による力学的な強制を受けてもたらされる降水が支配的であると示唆された。

GPM-DPR 観測による熱帯における Hail Storm の分布

清木達也

海洋研究開発機構

本研究では全球降水観測計画主衛星(GPM)に搭載された二周波降水レーダー(DPR)を利用し、熱帯における Hail-Storm (雹を含む対流雲) がどのような地域や季節に多く分布しており、どのような降水システムに多く含まれているかを示す。雹の検出は Seiki (2021) に倣い、Ku 帯におけるレーダー反射因子(ZKu)に加え、Ku 帯と Ka 帯のレーダー反射因子の比率(DFR)、そして再解析データから得られる気温分布を利用した。

2014 年から 2018 年までの衛星観測を解析したところ、Hail Storm は世界中に広く存在するわけではなく、アマゾン南部、中央アメリカの山岳部、中央アフリカ、そしてインド—海大陸—インドシナ半島におけるアジアモンスーン域に多くみられることが分かった。多い地域で 1.25°四方の格子内に月平均 5 回程度の観測頻度である。雹の季節変化を見てみると、雹発生のパークは年間降水量のパークとほぼ重なっている事がわかった。このことから、上述の対流活発域における降水システムの予報には雹が重要である事が観測から示唆された。一方で、海洋の対流システムの代表として熱帯低気圧を抽出して雹の分布を調べたところ、熱帯低気圧の壁雲近辺でさえ Hail-Storm は含まれていないことが分かった。レーダーエコー解析からは、熱帯低気圧内部における降雨形成メカニズムは暖かい雨プロセスが支配的であることが示唆された。