

日本気象学会

九州支部だより

No. 143 2023年4月



発行者
(公社)
日本気象学会九州支部
〒810-0052
福岡市中央区大濠1-2-36
福岡管区気象台防災調査課内

Tel: 092-725-3614
Mail: info@msj-kyushu.jp
HP: <http://msj-kyushu.jp/>

【今回の記事】

◆第44回支部発表会およびジュニアセッションを開催

第44回九州支部発表会および ジュニアセッションを開催

九州支部は3月5日(日)09時30分から、「第44回支部発表会およびジュニアセッション」を、新型コロナウイルス感染症対策のため福岡管区気象台をホスト会場に、Zoomを使用しオンラインで開催しました。先ずジュニアセッションから開催し、その後、一般の部の発表へと移りました。高校生が発表するジュニアセッションに2校から4題、一般の部では7題の参加がありました。また、九州大学大学院・理学研究院・教授の廣岡俊彦氏から、「大気の自由振動について」と題して、特別講演をいただきました。当日は発表者を含めおよそ40名の参加がありました。



開会挨拶をする中本支部長

【開会挨拶】

日本気象学会九州支部 支部長 中本 能久 氏
(福岡管区気象台 台長)

本日は、発表会に参加していただきありがとうございます。

一昨年、昨年、今年とコロナの影響でオンラインでの開催となりました。コロナの感染を防止するため様々な行動が制約される中、研究活動に励んでいただいたおかげで、本日は、ジュニアセッション、支部発表会を含め11題の発表があります。

ジュニアセッションは、熊本県の宇土高校、鹿児島県の国分高校からそれぞれ2題ずつの発表があります。

宇土高校の発表では、不知火海などで起きる気象現象を、国分高校からは、火山噴火に関連する現象について発表があります。いずれの高校も地元に関連のある現象を取り上げており、課題発表を聞くことを楽しみにしております。支部の発表会においては、気候システム関連が4題、観測技術関連の3題の発表があります。研究の進展によって、気候変動、台風、火山噴火を起因とする津波のメカニズム解明や監視に役立つのではないかと考えています。

また、九州大学大学院・理学研究院 廣岡俊彦教授より「大気の自由振動」を特別講演としてお話しいただきます。廣岡先生、ご多忙中の中、講演いただきありがとうございます。

最後に、今回の支部発表会において活発な議論が行われ、さらなる研究の進展があることを願って、開会のあいさつとさせていただきます。

研究発表課題の一覧(発表順) ジュニアセッションの部

【発表12分、質疑応答3分】

座長: 木村 誠治(支部事務局長:福岡管区気象台観測課課長)



発表番号	発表者	著者	タイトル
ジュニアセッション 座長: 木村 誠治(支部事務局長:福岡管区気象台観測課課長)			
1	とくまる りょうた 徳丸 亮汰(1) ()内は学年	熊本県立宇土高等学校 *徳丸 亮汰(1)、本田 琢磨(1)、新宅 草太(1)、 小林 瑞(1) *は発表者	浮島現象発生条件と原理 ～再現実験からの検証～
2	しんたく そうた 新宅 草太(1)	熊本県立宇土高等学校 *新宅 草太(1)、小林 瑞(1)、徳丸 亮汰(1)、本 田 琢磨(1)	海陸風は吹いているのか ～不知火海を吹く風を探る～
3	ひやみず かずや 冷水 和哉(2)	鹿児島県立国分高等学校 *冷水 和哉(2)、山迫 真朱(2)、中島 絢花(2)、 中釜 章人(2)、山口 琥珀(2)、野田 竜馬(2)	次の桜島大噴火時の降灰を予想する ～上空に吹く風の研究Ⅱ～
4	あらき しゅか 荒木 珠花(2)	鹿児島県立国分高等学校 *荒木 珠花(2)、岡村 咲香(2)、吉満 楓(2)、古 江 悠真(2)、田方 莉瑚(2)、山神 聖矢(2)	月食時の月の明るさの研究 ～月食とエアロゾルの関連性を中心に～

1 浮島現象発生条件と原理 ～再現実験からの検証～

熊本県立宇土高等学校

*徳丸 亮汰(1)、本田 琢磨(1)、新宅 草太(1)、小林 瑞(1)

*は発表者、()内の数字は学年

(1) 方法

ヒーターの温度によるヒーター上の気温の鉛直分布を調べる。
ヒーター上の気温を1mの高さまで計測。

誤差を少なくするために三か所の平均を求める

ヒーター上の気温計測の様子

(2) 結果

ヒーターの温度が高いとき、さらに、ヒーターからの高さが低いときに収束点まで温度変化がより大きくなることがわかった。

(1) 方法

対象 シリコンラバーヒーター

温度調節器

観測点(カメラ)

制作した浮島再現装置

宇土高校科学部地学班(カメラのみ)

※ それぞれの発表で使用された主なスライドを掲載しています。敬称略。

2 海陸風は吹いているのか ～不知火海を吹く風を探る～

熊本県立宇土高等学校

*新宅 草太(1)、小林 瑞(1)、徳丸 亮汰(1)、本田 琢磨(1) *は発表者、()内の数字は学年

3-B 海陸風の原理

(1) 方法

実験1：白熱電球を用い砂と水の比熱の違いを調べる。



図 砂と水の比熱実験の装置

3-B 海陸風の原理

(3) 実験2の結果および考察

- ・カイロ（暖）の上で線香の煙が上昇
- ・何も無い所（冷）の上で線香の煙が下降



温度差によって、海陸風が発生

3-B 海陸風の原理

(2) 実験1の結果および考察

- ・加熱時（0～45分）：砂の方が水より表面温度が高くなった
- ・冷却時（45～90分）：砂の方が水より早く表面温度が低くなった

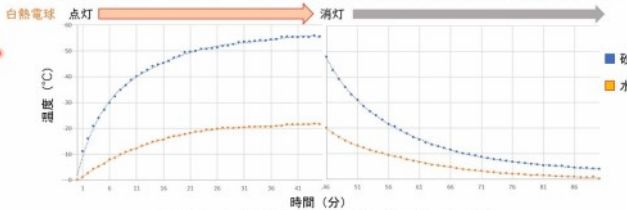


図 砂と水の温まり方（0～45分）冷め方（46～90分）

砂は水に比べ、比熱が小さい。

38270509



3 次の桜島大噴火時の降灰を予想する ～上空に吹く風の研究Ⅱ～

鹿児島県立国分高等学校

*冷水 和哉(2)、山迫 真朱(2)、中島 絢花(2)、中釜 章人(2)、山口 琥珀(2)、野田 竜馬(2)

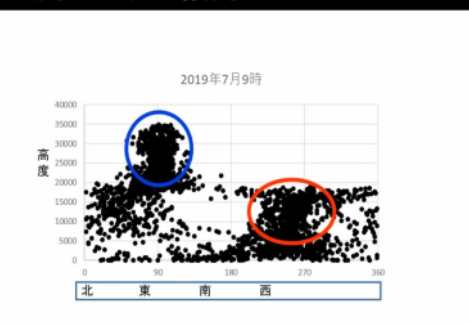
*は発表者、()内の数字は学年

桜島について

- ・鹿児島県の鹿児島湾にある、標高1117m周囲約55kmの火山。かつては島であったが、1914年（大正3年）の噴火で鹿児島市の対岸にある大隅半島と陸続きになった。
- ・約2.6万年前に誕生して、現在までに17回の大噴火を起こしている。



風向データの傾向のアニメーション



文明噴火とほかの火山噴火の比較



4 月食時の月の明るさの研究 ～月食とエアロゾルの関連性を中心に～

鹿児島県立国分高等学校

*荒木 珠花(2)、岡村 咲香(2)、吉満 楓(2)、古江 悠真(2)、田方 莉瑚(2)、山神 聖矢(2)

*は発表者、()内の数字は学年

研究動機

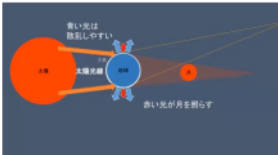
月食時の月が赤く見えることに興味を持った。

・過去の月食を調べると赤く見えなかった事例を見つけた。

・赤く見えなかった原因は火山の大噴火の影響らしい。

2021年8月、福徳岡ノ場火山が大噴火したので、その影響が

11月の月食にどのように影響するのか興味を持った。



この地点を通過する大気の変化によって月食時の月に影響が出るのではないかと考えた

※太陽光がエアロゾルを通過することによって光が赤くなることを実験で証明した。

研究Ⅰ 2021年11月19日部分月食



最大食分0.978



観測に参加したメンバーで肉眼で観測し値を決定

ダンジョンズスケール

色の根本

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

色温度

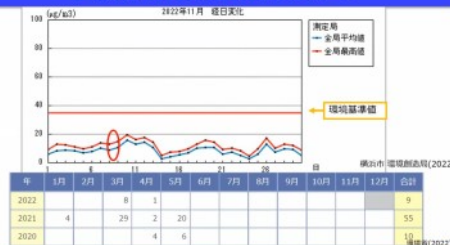
色温度

色温度

色温度

2021年8月福徳岡ノ場噴火の影響で暗めの月食を予想していた(L = 1~2)が、実際はL = 3で明るめの月食だった。

研究Ⅲ なぜ2022年11月8日皆既月食は予想よりも暗めだったか？



黄砂・PM2.5の影響無し。



一般の部研究発表課題 セッションⅠ(観測技術)

【発表14分、質疑応答6分】

座長:望月 崇(九州大学大学院理学研究院准教授)

座長



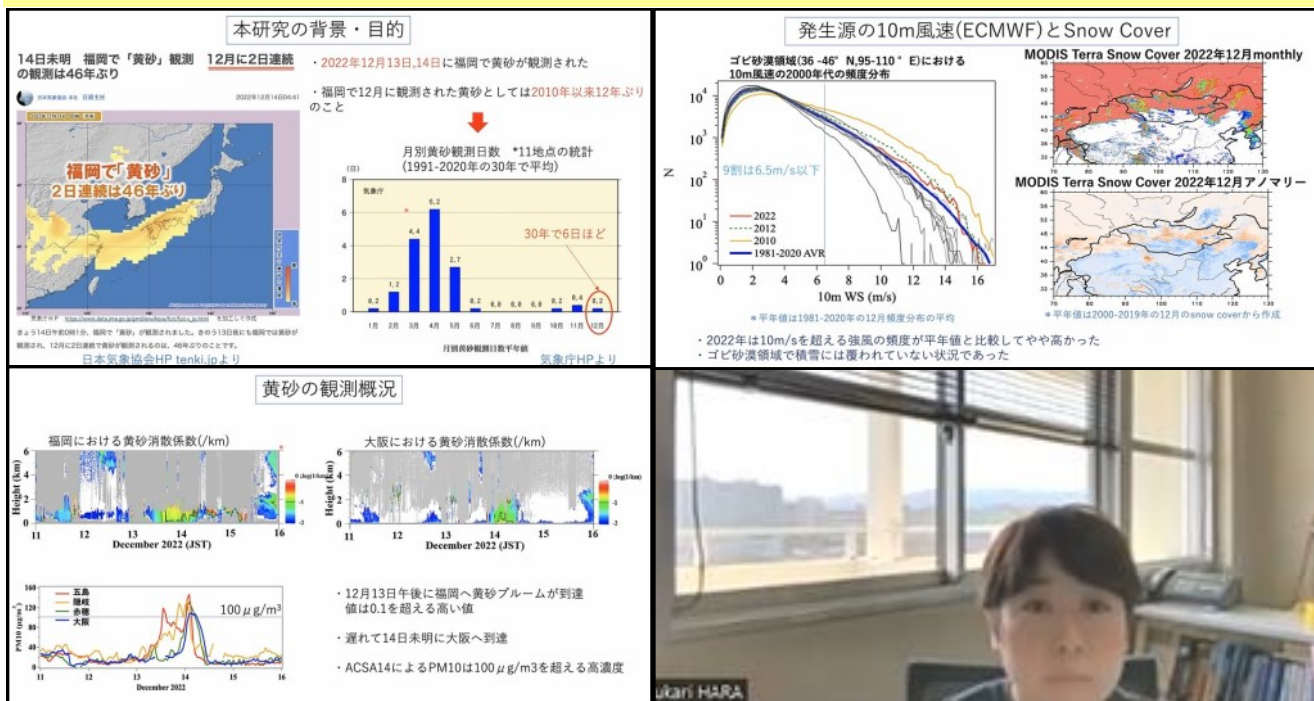
発表番号	発表者	著者	タイトル
支部発表会 セッションⅠ(観測技術) 座長:望月 崇(九州大学大学院理学研究院准教授)			
5	はら ゆかり 原 由香里	*原 由香里(九州大学応用力学研) 弓本 桂也(九州大学応用力学研)、神 慶孝(国立環境研)、田中 泰宙(気象庁)、眞木 貴史(気象研 究所)	2022年12月に観測された冬の黄砂
6	たけもと ゆうたろう 竹本 祐太郎	*竹本 祐太郎 川村 隆一・望月 崇・川野 哲也(九州大学院・理)	黄海を通過する台風が朝鮮半島周辺海域の海水温と表層流に与えるインパクト
7	ひらみね たくみ 平峯 拓実	*平峯 拓実(九州大学理学部) 今田 衣美(九州大学院理学府地球惑星科学専攻)、中島 健介(九州大学院理学研究院地球惑星科学 部門)	微気圧変動の超多点集中観測の試み

5 2022年12月に観測された冬の黄砂

*原 由香里(九州大学応用力学研)

弓本 桂也(九州大学応用力学研)、神 慶孝(国立環境研)、田中 泰宙(気象庁)、眞木 貴史(気象研究所)

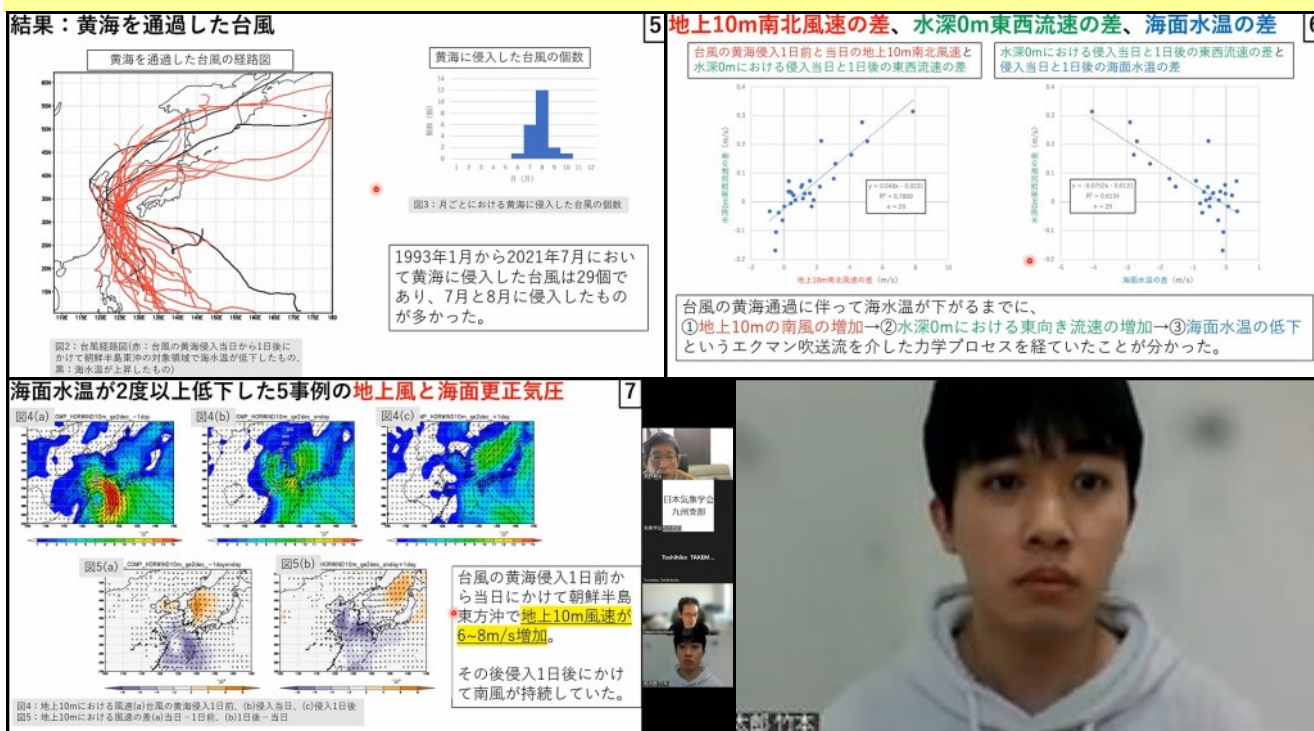
*は発表者



6 黄海を通過する台風が朝鮮半島周辺海域の海水温と表層流に与えるインパクト

*竹本 祐太郎

川村 隆一・望月 崇・川野 哲也(九州大学院・理) *は発表者



7 微気圧変動の超多点集中観測の試み

*平峯 拓実(九州大学理学部)、今田 衣美(九州大学院理学府地球惑星科学専攻)、中島 健介(九州大学院理学府地球惑星科学部門)

2-3 試験観測

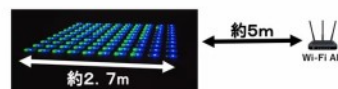
- 微気圧計の数を段階的に増やす室内測定
 - 20個程度以上接続すると取得できないデータが増加
→一度のパケットで送信するデータを増やし、パケット数を減らす

- 微気圧計の設置間隔とWi-Fi APの位置関係



Wi-Fi APの近くとしか
通信できない

3-1 観測方法



- 日時 2023年1月12日夜
- 場所 九大伊都キャンパス 理学図書館近くの平らな広場
- 100台の微気圧計
ほぼ平面上の10×10格子点に、約0.3m間隔で配置
- Wi-Fiアクセスポイント
微気圧計領域から約5m離れた位置に設置
⇒ ほぼ1714~5個/分(測定間隔35ms毎に相当)でデータ受信
約1時間(21:26~22:23)観測を行えた
- 特に受信状況が良かった
9分間(22:08~22:17)をここで解析

4-3 数mスケールの大気擾乱

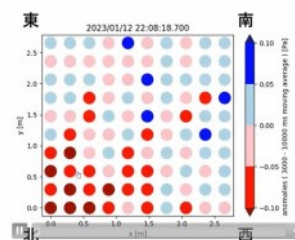
- そこで、まず数秒程度の変動を
見ることに

データ処理2

- 3秒移動平均の10秒移動平均からの
偏差を計算→プロットしアニメ化

結果

- 波長数m程度、振幅約0.18Pa
平面波的な気圧変動が
北から南に移動する
ような様子が明瞭な時間帯あり
⇒小規模大気擾乱の通過を
捉えた可能性



セッション2(気候システム)

【発表14分、質疑応答6分】

座長:野口 峻佑(九州大学理学府地球惑星科学専攻)

座長

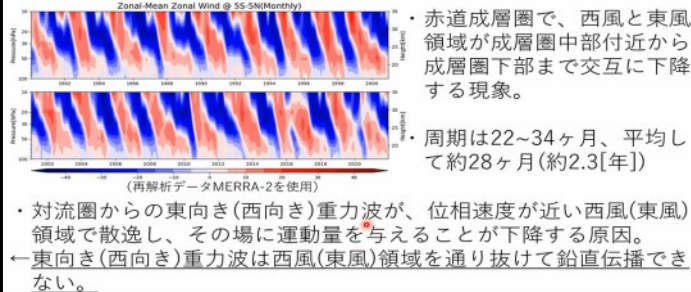
発表 番号	発表者	著者	所属	タイトル
支部発表会 セッション2(気候システム) 座長:野口 峻佑(九州大学理学府地球惑星科学専攻)				
8	わたべ しょうた 渡部 勝太	*渡部 勝太(九州大学理学部) 野口 峻佑(九州大学院理学府地球惑星科学専攻)	九州大学理学部	鉛直一次元モデルによる赤道成層圏準二年周期振動乱調現象の模擬および感度実験
9	やまくち しゅうへい 山口 修平	*山口 修平 望月 崇・川村 隆一・川野 哲也(九州大学院理学府)	九州大学院理学府	高解像度の大规模アンサンブルデータセットを用いた熱帯低気圧を要因とする降水分布の将来変化の解析
10	わたの ゆうだい 和田野 雄大	*和田野 雄大 望月 崇・川村 隆一・川野 哲也(九州大学院理学府)	九州大学院理学府	Super El Niñoが北大西洋とヨーロッパに与える影響
11	なかや ひかる 仲矢 光	*仲矢 光(九州大学院総合理工学府) 弓本 桂也・原 由香里(九州大応用力学研究所) 梶野 瑞王(気象研究所)	九州大学院総合理工学府	気温上昇が黄砂の発生と輸送に与える影響に関する研究

8 鉛直一次元モデルによる赤道成層圏準二年周期振動乱調現象の模擬および感度実験

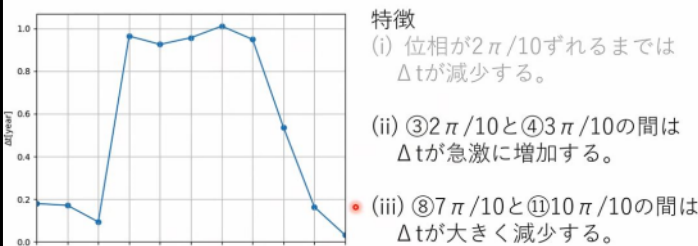
*渡部 勝太(九州大学理学部)、野口 峻佑(九州大学院理学研究院)

1. 序論

1.1 赤道成層圏準二年周期振動(Quasi-Biennial Oscillation: QBO)



Δt [年]: 西向き強制挿入後、位相がどれだけ移動したかを表す値



2. 使用したモデルの詳細

2.1 支配方程式

・平均流 $\bar{U}(z)$ の時間発展方程式[Plumb(1977)]:

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = - \sum_k \frac{\partial F_k}{\partial z} + \nu \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial z^2}$$

運動量収束 粘性拡散

ここで、 $F_k(z) = F_0 \exp\left(-\int_0^z \frac{N\mu}{k(\bar{U}-c)^2} dz'\right)$ であり、2つ(異符号)の重力波による運動量輸送を考えている。

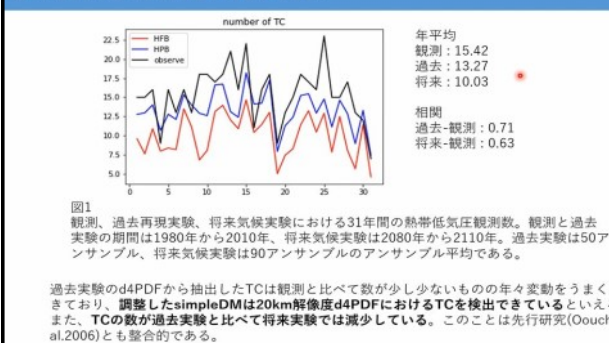
- ・空間離散化: 中心差分
- ・時間積分法: 3次のAdams-Bashforth法



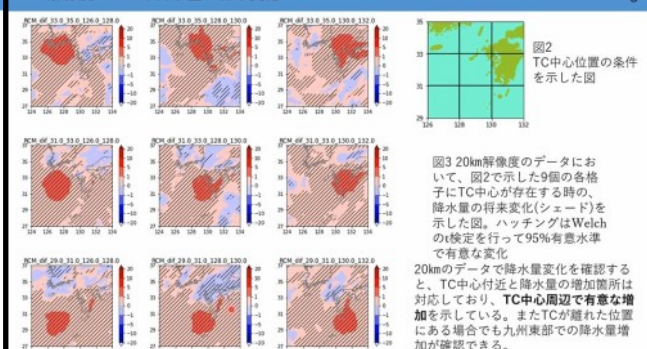
9 高解像度の大規模アンサンブルデータセットを用いた熱帯低気圧を要因とする降水分布の将来変化の解析

*山口 修平、望月 崇・川村 隆一・川野 哲也(九州大学院理学府)

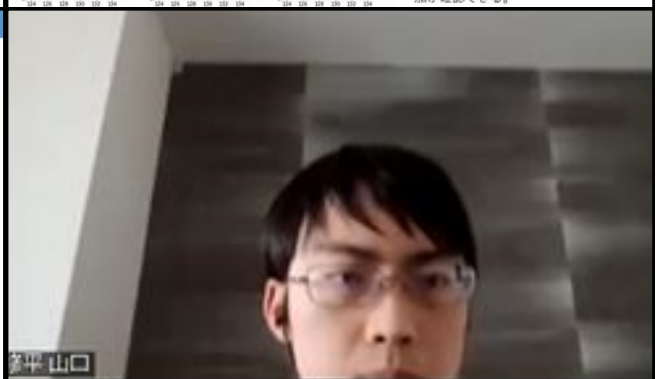
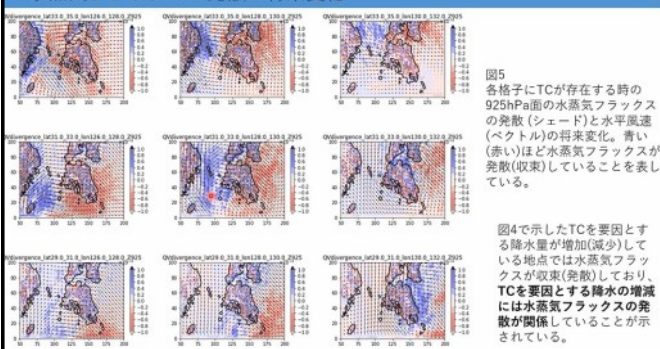
観測、過去実験、将来実験におけるTC発生数



20km解像度における降水量の将来変化



水蒸気フラックスの発散の将来変化



10 Super El Niñoが北大西洋とヨーロッパに与える影響

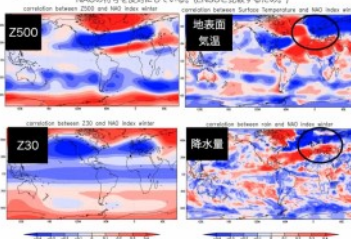
*和田野 雄大、望月 崇・川村 隆一・川野 哲也(九州大学院理学院)

Results

再解析データでの統計的性質(NAO)

- 高度場500hpaは、北アメリカ大陸からヨーロッパにかけて負の相関が見られる。
- 高度場30hpaの高度場は、ヨーロッパ上空に負の相関が見られる。
- 降水も地表気温にも相関を持っている。(北ヨーロッパに平均以下の降水量、平均より低い気温をもたらす一方、南ヨーロッパでは降水量は平均以上、気温は平均より高くなる。)

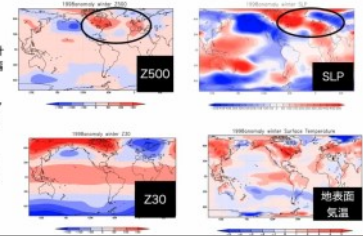
NAOindexと各物理量との相関



7 Results

再解析データ:1998年スーパーエルニーニョ事例解析

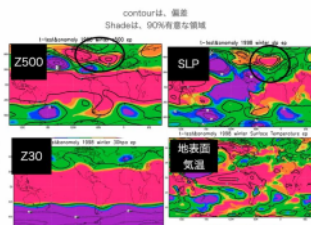
- 統計的性質と同じように、Z500で、PNAパターンが見られる。また、統計的性質に見られなかったヨーロッパに正の偏差が見られる。
- 高度場30hpaに着目すると、エルニーニョの統計的性質にあったようなヨーロッパ上空で有意な偏差が見られる。
- SLPを見ると、Z30と同じようにスカンジナビア半島で負の偏差が見られる。正の偏差がZ500と同じようにヨーロッパにかかっている。
- 地表気温では、NAOと異なる温度偏差が見られる。スカンジナビアで強い正の偏差が見られ、ヨーロッパ全域で正の偏差が見られる。



Results

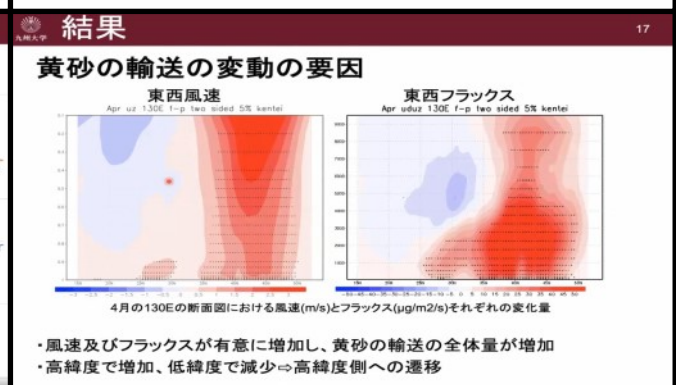
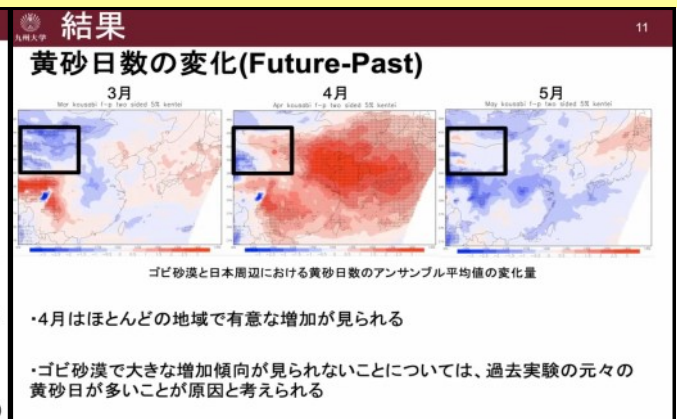
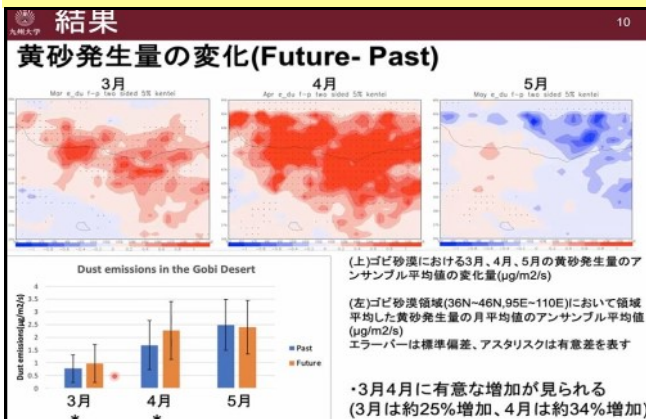
モデルアンサンブル平均の1998年の事例解析

- 高度場Z500で観測データで現れたPNAパターンがここでも見られたが、大西洋でも正のシグナルが再現される。
- SLPでは、北大西洋で大西洋中緯度で正の偏差が再現されたが、ヨーロッパまでの延伸の再現はなかった。
- Z30ヨーロッパで有意なシグナルが、小さいが有意なシグナルが見られる。
- 地表気温では、北大西洋からヨーロッパ沿岸にかけて正の偏差が見られるがヨーロッパ陸上では有意な偏差が見られなかった。



11 気温上昇が黄砂の発生と輸送に与える影響に関する研究

*仲矢 光(九州大学院総合理工学府)、弓本 桂也・原 由香里(九州大応用力学研究所)、梶野 瑞王(気象研究所)



特別講演:「大気の自由振動について」

廣岡 俊彦 氏(九州大学大学院・理学研究院・教授)



1. はじめに

筆者は、この3月末をもって長らく務めた九州大学を定年で退職することになった。この度、それを機会に、日本気象学会九州支部発表会で特別講演を行う機会を頂いた。私は1981年に京都大学を卒業し、引き続き大学院に進み、学位を取得後、気象庁、九州大学で働いてきたが、その間に、主として中層大気に関する研究を行ってきた。今回の特別講演で、何について話そうかと色々迷ったが、やや地味ではあるが、研究生活の初期の段階で携わり、また最近新しい展開もあった、大気の自由振動に関して話してみようと思う。初期の段階の研究内容は、廣岡(1987, 1992)にまとめているので、参照いただければ幸甚である。

2. 自由振動とは

大気中には様々な波動が存在しており、それらの大半は、外部からの強制力により励起される強制波や、大気内部に形成された何らかの不安定性により生じる不安定波であると考えられている。強制波は、強制力の周期や空間構造に規定されて作られる波動である。例えば、大気潮汐は、地球の自転に伴う1日周期の太陽加熱や、月の引力による起潮力により強制される波動である。冬季に卓越する停滞性プラネタリー波も大規模地形などによる強制波である。一方、不安定波は、外部要因により作られた不安定な状態を解消するように、特定の周期や空間構造が選択されて生じる波動である。例えば、日々の天候を支配する高低気圧は、太陽加熱の緯度による違いに起因する、高緯度と低緯度の温度差により作られる不安定(傾圧不安定)により生じる波動で、4000~5000km程度の波長、1週間程度の周期を持って現れる。

そのような波動以外に、何らかの要因で大気が揺さぶられた際に、大気を持つ固有の振動数や空間構造を持って、振動が継続することがある。この種の波動は自由振動、あるいは自由波などと呼ばれている。今日の話の中心は、この自由振動に関するものである。大気の自由振動は、古典潮汐理論と呼ばれる、静水圧平衡を仮定し、球面上で、静止した大気を基本場として線形化した(つまり微小擾乱の振幅が非常に小さく、その微小擾乱の積の項が無視できるような)方程式系に基づき議論される。少し難しい話になるが、要点のみを記すと以下ようになる。

この方程式系は、従属変数を緯度方向と鉛直方向に分離することが可能であり、それぞれ水平構造方程式、鉛直構造方程式と呼ばれるものとなる。その際の分離定数(ここでは h とする)は等価深度(equivalent depth)として知られており、水平構造方程式は、かつてラプラス(Laplace)が一様な h の深さの海洋中の振動を扱った際に導出した式に一致し、ラプラス潮汐方程式とも呼ばれている。大気にはもちろん深さという概念はないが、等価深度とは、大気が深さ h の海洋と力学的に等価であるという意味合いで名付けられたものである。海洋の場合は深さが負になることはあり得ないが、強制波の場合には、強制力の種類に応じて h は正でも負でも取ることができ、正かつ約8km以下の値の場合のみ鉛直伝播が可能な解(内部波)に対応し、その場合、 h が大であるほど鉛直波長は長くなることが知られている。

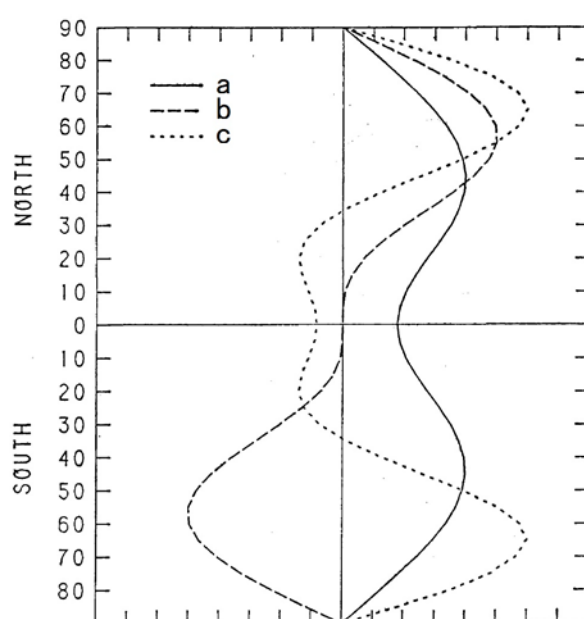
さて自由振動の場合は、強制力に対応する項をゼロと置き(すなわち断熱と仮定し)、地表での鉛直風がゼロ、高度無限大で波動のエネルギーがゼロという境界条件の下で鉛直構造方程式を解く。大気を等温と仮定した場合には h は唯一の値を取り、地球大気の平均気温である240Kの等温大気を与えると約10kmという値となる。これは8kmより大きな値なので、先ほど挙げた内部波の条件からは外れた、鉛直方向に伝播しない波動(外部波)ということになる。この解は、鉛直速度成分がゼロで、水平方向に音速で伝播するラム波(Lamb wave)と同じ鉛直構造であることからラムモード(Lamb mode)と呼ばれるが、名称は似ていても、ラム波とは全く異なる点に注意が必要である。ラムモードは外部波であるが、高度とともに指数関数的に密度が減少する効果で、振幅はゆっくりと増加する。現実の大気の温度構造を与えて計算した場合には、複数の h が得られるが、先ほどの約10kmのラムモードに加え、特に成層圏界面の気温極大が寄与する約6.1kmのモードが次の主要モードとして得られ、これをペケリスモード(Pekeris mode; Pekeris, 1937)という。先ほどの条件から考え、これは内部波モードということになる。

一方、水平構造方程式の解は、19世紀末に先駆的な研究を行ったハフ(Hough)の名を取りハフ関数と呼ばれるが、この方程式が完全に解かれたのは、それよりもずっと後のことであった(Longuet-Higgins, 1968)。 h の値に応じて様々な関数形となるが、第1図に h が10kmの場合のハフ関数の例を示す。ハフ関

数は、完全直交系をなす大気の規準振動という意味で、大気のノーマルモード（normal mode）と呼ばれることもある。

3. 現実大気中の自由振動の同定

1970年頃までの地球規模の大気波動、すなわちプラネタリー波に関する研究で、冒頭に述べた停滞性のもの以外に西進する成分があることが知られるようになった。東西波数 s が1の成分にも、2の成分にも、特徴的な二つの周期帯があり、一つは3～7日（平均5日）、もう一つは10～20日（平均16日）であった。1970年代に入り、これらは自由振動のロスビー波で、前者の $s=1$ 成分が赤道対称基底モード（第1図a）であり、後者の $s=1$ 成分が次の赤道対称モード（第1図c）であると同定され、それぞれ5日波（5-day wave）、16日波（16-day wave）と名付けられた。さらに中間圏でしばしば観測される2日周期の波動が、やはり自由振動の中の $s=3$ の混合ロスビー重力波と呼ばれるモードであることもわかり、2日波（2-day wave）と名付けられた。

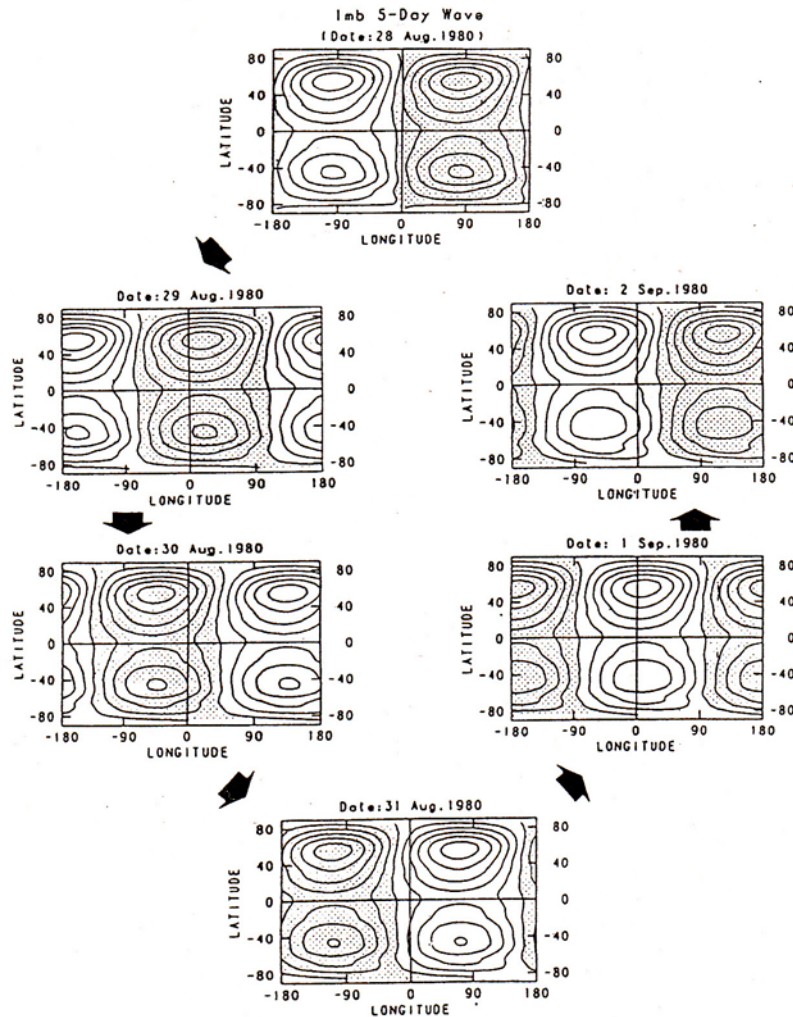


第1図 $h=10\text{km}$ の場合のロスビー波モードのハフ関数の例(廣岡, 1992による)。東西波数 $s=1$ の場合の(a)赤道対称基底モード、(b)赤道反対称基底モード、(c)赤道対称の次のモード。

1980年代に入ると、自由振動に関する古典潮汐理論が、静止等温大気を基本場としているのに対し、非断熱加熱が存在し、風や温度場が非一様ではない現実の場の下で、水平構造や鉛直構造がどのように変化するかも調べられるようになった。筆者が京都大学の大学院に1981年に進学し、本格的に中層大気の研究を開始したのはこのような状況の時であった。

その当時の筆者自身の問題意識は、5日波や16日波が現実の中層大気中でどのような構造を取っているか、その他のモードは実在するのか、また、これらのモードがどのような出現特性を持つのか、さらには、自由振動といっても、何らかの力が働いて大気が揺さぶられないと振動が発生しないわけなので、そのような力、つまり励起源は何なのだろう、ということであった。このような問題意識の下で、当時の指導教官の廣田勇先生（現京都大学名誉教授）と研究を開始した。大学院時代に、どのように研究を進めていったかについては、関連する参考文献を含め、廣岡（1992）に詳しく記しているので、一読して欲しい。

実在する自由振動は地表付近では振幅が小さく、かなり慎重な解析をしないと見つけることができないが、中層大気中では、高度とともに指数関数的に密度が減少する効果で、大きな振幅となる。当時利用が可能となった、高精度の衛星観測データを解析し、最初に上部成層圏における5日波の全球的出現をきれいに示すことができた（第2図）。この波動は、西進速度が比較的速いので、現実大気 of 非一様な風や温度場の影響は比較的小さいことも示すことができた。



第2図 1hPa高度において、北半球が夏季の時期に観測された5日波の水平構造(Hirota and Hirooka, 1984による)。等値線間隔は20m、陰影は負の領域を表す。理論的構造は第1図a。

続く解析で、16日波は西進速度が遅いので、非一様な風や温度場の影響を受けやすく、影響が比較的小さい下部成層圏まででは全球的構造を保つものの、中上部成層圏では、西風の領域（冬半球）に局在するという特徴を示すことができた。さらに、 $s=1$ の周期約10日の赤道反対称のロスビー波モード（10日波; 第1図b）、 $s=2$ の赤道対称の基底ロスビー波モード（4日波）を発見したのに続き、 $s=1$ の周期約20日の、10日波の次の赤道反対称ロスビー波モードなども発見し、これらのモードがいつ出現するかを調べ、出現カレンダーも作成した。

自由振動波は順圧的構造を持ち、第2図に示すように、南北方向に位相変化がないので、運動量や熱の渦輸送をほとんど行わない。しかしながら、傾圧的構造を持つ同じ東西波数の停滞波があれば、それと干渉を起こして、運動量や熱の渦輸送を周期的に変化させ、東西風を振動させることを明らかにした。

大学院を修了した後、気象庁を経て、1993年に九州大学に異動した。ちょうどその頃、UARSという地球観測衛星搭載された、上部中間圏にまで及ぶデータが利用可能となり、そのデータを用いて、5日波や10日波が、少なくとも80kmの高度まで存在していることと、その構造の変化も明らかにした(Hirooka, 2000)。また三好勉信博士とともに、数値シミュレーションに基づき5日波の励起メカニズムを調べ、赤道域の積雲対流が重要であることを示すことができた(Miyoshi and Hirooka, 1999)。

4. ペケリスモードの発見

その後しばらく、自由振動についての研究は行っていなかったが、2012年にフォースら (Forbes and Zhang, 2012) が、2009年1月の成層圏突然昇温時に、熱圏高度で月の半日潮汐の増幅が観測されたのを、突然昇温に伴う東西風変化で、その近辺に存在するペケリスモードの周期が少し変化し、月の起潮力周期と一致した結果、共鳴が起こったためではないかと議論しているのを目にした。

さらに、2022年1月に、フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山が噴火し、それに伴い顕著なラム波が観測された。ラム波は音速で水平方向に伝播するが、重力加速度を g とすると、その速度は $(gh)^{1/2}$ と表される。噴火後観測されたラム波は秒速315mであり、これは約10kmの h に対応する値である。それに加え、ラム波のあとに弱い振動が観測され、その伝播速度は秒速245mであった。この速度を上記ラム波の速度式に当てはめると、約6.1kmの h に対応する値であることがわかる。この波動について数値シミュレーションも併用して詳細に調べたところ、この波動こそが、理論的に得られるペケリス波であることが示された (Watanabe et al., 2022)。さらに、自由振動に関しても、観測データの詳細なスペクトル解析により、約10kmの h に対応するラムモードの周期の近くに、約6.1kmの h に対応するペケリスモードが存在することも示されている。これまで、ペケリスモードは解として得られていたが、現実大気の減衰効果を考慮すると、実在はしないものとされてきた (例えばSalby, 1980)。従って、ペケリスが1937年に解を示してから、実に85年を経て、その実在が示されたということになる。

5. おわりに

超高層大気中にも自由振動に近い周期を持つ変動が観測されている。しかしながら、例えば5日波に近いものの周期は約6日で、やや長周期となっている。これが自由振動なのか、または別種の波動なのか、結論には至っていない。ラムモードの5日波に対応するペケリスモードは約6日の周期となるので、ペケリスモードと同定できれば、この問題に決着が付くことになる。近い将来、この点が明らかとなり、我々の自由振動に関する理解が進展することが期待される。

【参考文献】

- Forbes, J. M., and X. Zhang, 2012: Lunar tide amplification during the January 2009 stratosphere warming event: Observations and theory. *J. Geophys. Res.*, **117**, A12312, doi:10.1029/2012JA017963.
- 廣岡俊彦, 1987: 大気中のプラネタリー・ロスビー波. 気象研究ノート, **156**, 93-127.
- 廣岡俊彦, 1992: 1991年度日本気象学会賞受賞記念講演—中層大気中のプラネタリー・ロスビー波. 天気, **39**, 111-122.
- Hirooka, T., 2000: Normal mode Rossby waves as revealed by UARS/ISAMS observations. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 1277-1285, doi: 10.1175/1520-0469(2000)057<1277:NMRWAR>2.0.CO;2
- Hirota, I., and T. Hirooka, 1984: Normal mode Rossby waves observed in the upper stratosphere. Part I: First symmetric modes of zonal wavenumbers 1 and 2. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 1253-1267, doi: 10.1175/1520-0469(1984)041<1253:NMRWOI>2.0.CO;2.
- Longuet-Higgins, M., S., 1968: The eigenfunctions of Laplace's tidal equation over a sphere. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **A262**, 511-607.
- 松野太郎, 島崎達夫, 1981: 成層圏と中間圏の大気. 大気科学講座3, 東京大学出版会, 279pp.
- Miyoshi, Y., and T. Hirooka, 1999: A numerical experiment of excitation of the 5-day wave by a GCM. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1698-1707, doi: 10.1175/1520-0469(1999)056<1698:ANEOEO>2.0.CO;2
- Pekeris, C. L., 1937: Atmospheric oscillations. *Proc. Roy. Soc. London*, **158A**, 650-671, doi:10.1098/rspa.1937.0046.
- Salby, M. L., 1980: The influence of realistic dissipation on planetary normal structures. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 2186-2199, doi: 10.1175/1520-0469(1980)037<2186:TIORDO>2.0.CO;2.
- Watanabe, S., K. Hamilton, T. Sakazaki, and M. Nakano, 2022: First detection of the Pekeris internal global atmospheric resonance: Evidence from the 2022 Tonga eruption and from global reanalysis data. *J. Atmos. Sci.*, **79**, 3027-3043, doi: 10.1175/JAS-D-22-0078.1.

【講評及び閉会挨拶】

日本気象学会九州支部 常任理事 竹村 俊彦 氏
(九州大学応用力学研究所・教授)



講評及び閉会挨拶をする
竹村常任理事

本日は休日のなか、活発な講演・議論がされたと思います。ご苦労様でした。発表会の準備等、事務局には感謝申し上げます。

さて、ジュニアセッションでは、高校生自身がアイデアを出して観測していることが印象的でした。質問やアドバイスを先生方がレベルの高いコメントをしていますが、もう一歩頑張れば査読論文として出せるレベルにある研究をされているからこそだと思います。

個人的なことです。以前、このジュニアセッションで私がコメントしたことがあるのですが、その学生が九州大学で私の講義を受けて、挨拶に来てくれてとても嬉しかったです。

気象学は身近でわからないことが多く、若い人たちが気象学に魅力を感じて、いろいろな取り組みをされることを今後も期待して、九州支部もその一助になればと考えているところです。

一般の部については、今回発表した講演を査読論文にするよう目指して、取り組んでいただきたいと思います。支部発表会は大学院生にとっては修士論文を仕上げた直後に実施されます。小規模で講演時間を長めにとれるので、積極的に活用していただければと思います。もちろん、中堅、シニアの方の発表も歓迎します。

廣岡先生におかれましては、先生が若手・中堅時代の貴重なお話をしていただきありがとうございました。また、先生は日本気象学会九州支部に長年にわたり貢献していただきまして感謝申し上げます。

コロナ制限が少しずつ緩和されてきています。オンラインの便利さを感じつつ、従来の対面の良さもあるので、来年度の支部発表会やイベントの開催方法も検討しながら、九州支部の活動が活発になるように考えていきます。今後とも皆様のご協力をよろしくお願い申し上げます、講評と閉会の挨拶といたします。

支部事務局からのお知らせ

4月異動期の住所・メールアドレスの登録変更は忘れずに

卒業や人事異動等で4月に住所やメールアドレスが変更される方は、登録変更の手続きを忘れずに行ってください。日本気象学会(本部)の会員登録情報の変更のページで行うことができます。

<https://www.metsoc.jp/membership-2/update-2>

事務局からのメールは、一斉送信する際にはBCCで送信するため、他の会員にメールアドレスが知られることはありませんのでご安心ください。